



*Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos,
Canales y Puertos.*
UNIVERSIDAD DE CANTABRIA



ESTUDIO MULTICRITERIO DE ALTERNATIVAS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE SISTEMAS URBANOS DE DRENAJE SOSTENIBLE (SUDS) EN PAÍSES EMPOBRECIDOS.

Trabajo realizado por:

María Antonia Arnaiz Gorostegui

Dirigido:

Pablo Pascual Muñoz

Jorge Rodríguez Hernández

Titulación:

Grado en Ingeniería Civil

Santander, julio de 2021

TRABAJO FIN DE GRADO

Resumen

Título: Estudio multicriterio de alternativas para la construcción de sistemas urbanos de drenaje sostenible (SUDS) en países empobrecidos

Autor: María Antonia Arnaiz Gorostegui

Directores: Pablo Pascual Muñoz y Jorge Rodríguez Hernández

Titulación: Grado en ingeniería civil, mención en construcciones civiles

Convocatoria: Julio 2021

Este trabajo de fin de grado trata dos temáticas inicialmente muy diferenciadas. La primera son los diferentes sistemas de drenaje urbano sostenible (SUDS) y la segunda son los métodos multicriterio para la toma de decisiones.

En primer lugar, se estudian los diferentes SUDS con sus características principales, ventajas y desventajas y sus costes, no solo de implantación sino también de mantenimiento. Posteriormente, se analizan los diferentes métodos multicriterio para la toma de decisiones, explicando paso a paso tanto los diferentes métodos para ponderar los criterios que se van a considerar, así como los diferentes métodos para llevar a cabo la selección de la mejor alternativa, realizando un ejemplo práctico para cada uno de los métodos.

Ambas temáticas se combinan a continuación para seleccionar los SUDS mediante el estudio multicriterio en países empobrecidos, con sus particularidades, y posteriormente con un caso práctico llevado a cabo en la ciudad de Córdoba Veracruz (México).



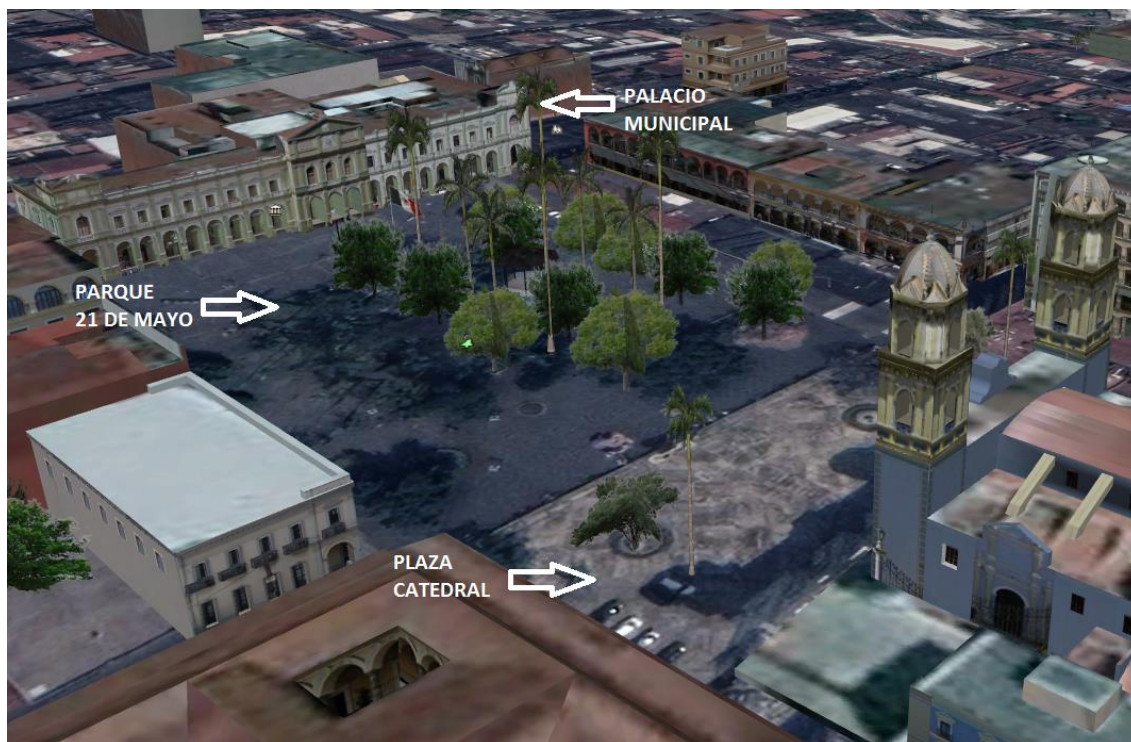
Para los países empobrecidos en general se consideran como alternativas individuales cada uno de los diferentes SUDS estudiados. Los pesos de los criterios se obtienen mediante el método AHP (Analytic Hierarchy Process) aplicado a los datos obtenidos de 11 encuestas realizadas a expertos en la materia. Posteriormente, para conseguir un ranking con los SUDS más apropiados para este tipo de países se utilizarán los métodos SAW (Simple Additive Weighting), WASPAS (weight aggregated sum product assessment) Y TOPSIS (Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution). Los valores de los criterios correspondientes a cada alternativa se toman del SUDS manual del Reino Unido. Así, analizando los resultados obtenidos con cada uno de estos métodos se obtendrá un ranking definitivo de los SUDS más viables y apropiados para implementar en este tipo de países.

Con la clasificación obtenida se diseñarán diferentes alternativas para el caso particular, cada una de ellas formada por uno o más de los SUDS mejor clasificados anteriormente. De esta manera conseguimos que las alternativas que vamos a comparar se hallan elaborado siguiendo un criterio y pensando desde un principio en donde se van a implementar.

En el caso particular, para la ponderación de los criterios de análisis de alternativas se utiliza el método CRITIC (Criteria Importance Through intercriteria correlation) ya que al tratarse de un estudio específico ahora contamos con datos concretos para cuantificar cada uno de los criterios dentro de cada una de las alternativas.

La valoración final de las alternativas se realiza mediante el método TOPSIS, el cual, mide la distancia de cada alternativa a la que sería la solución ideal, teniendo en cuenta también la distancia hasta la solución pésima.

Con todo esto habremos obtenido la mejor alternativa para implementar en la ciudad de Córdoba, México, ésta consiste en la adaptación de la azotea del Palacio Municipal para convertirla en cubierta verde, además de la modificación del pavimento de la plaza de la Catedral para que éste sea permeable y recoja no solo el agua de lluvia que cae sobre la propia plaza sino también el agua de escorrentía proveniente del parque 21 de Mayo gracias a que existe pendiente longitudinal hacia la Catedral.



Tras la realización de este trabajo se puede concluir que, de haber realizado este estudio en un país no empobrecido, los criterios para valorar las alternativas serían los mismos pero los pesos de cada uno serían diferentes y por lo tanto la alternativa más conveniente podría no ser la misma.

Desde el primer análisis en que seleccionamos los SUDS para elaborar las alternativas que se van a evaluar los resultados habrían sido distintos. Esto se debe a que un país no empobrecido puede asumir un mayor gasto en coste o mantenimiento para obtener mejores resultados a largo plazo y también dispone de personal más cualificado tanto para la proyección de los SUDS como para la propia ejecución de estos.

ABSTACT

Title: Multi-criteria decisions methods for the Construction of sustainable urban drainage systems (SUDS) in poor countries.

Author: María Antonia Arnaiz Gorostegui

Directors: Pablo Pascual Muñoz and Jorge Rodríguez Hernández

Degree: Civil Engineering, Specialization in Civil constructions

Convocatory: July 2021

This Degree Final Project (TFG) is about two different themes. The first one is the sustainable urban drainage systems (SUDS) and the second one is the multi-criteria decisions methods.

First of all, we have the different kind of SUDS with their main characteristics, advantages and disadvantages and their costs not only of construction but also of maintenance. Then we analyze the different multi-criteria methods for making a decision, explaining step by step the methods for getting the weight of the criteria that we are going to take into account as well as the methods for choosing the best alternative, showing an example for each method.

Both themes join together for get the best SUDS to use in poor countries using the multi-criteria decision methods and after getting the best SUDS we use them to design some alternatives and we get the best alternative to use in Cordoba Veracruz (Mexico) using again the multi-criteria decision methods.



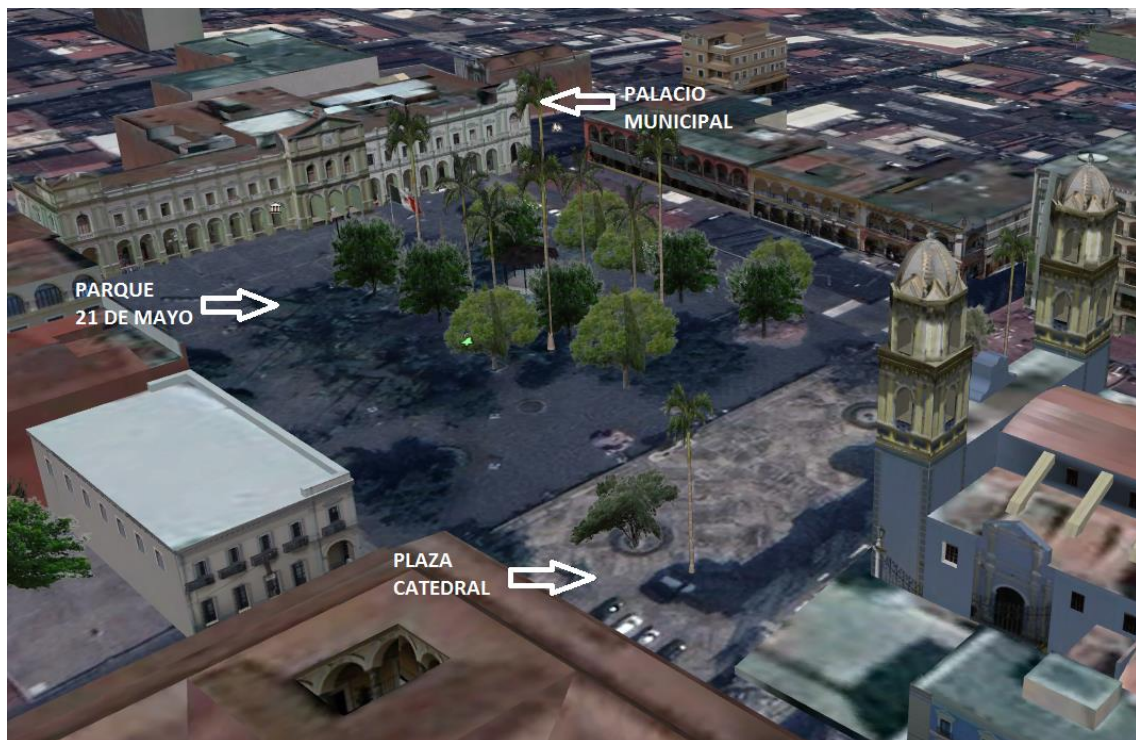
For getting the best SUDS to use at any poor country, we get the weight of the criteria with the AHP method (Analytic Hierarchy Process) applied to 11 surveys filled in by SUDS experts. Then we use the SAW (Simple Additive Weighting), WASPAS (weight aggregated sum product assessment) and TOPSIS methods (Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution) to decide which SUDS are the best for poor countries. The criteria value of each alternative we find it in the SUDS manual from the United Kingdom.

With the SUDS we have just get we elaborate alternatives with one or more of them. This way these alternatives may be adequate to use in Cordoba city as it belongs to a poor country (Mexico).

For the particular case we are making we will use the CRITIC method (Criteria Importance Through intercriteria correlation) for getting the weight of the criteria, we choose this method as we have specific data for giving a value of the diferent criteria to each alternative.

We will use the TOPSIS method to reach the best alternative by measuring the distance to the ideal solution from every alternative and taking also into account the distance to the worst solution.

After all these steps we get the best alternative for Cordoba which consists of converting the flat roof of the Municipal Palace of Cordoba into a green roof and in changing the Cathedral square pavement so it will be permeable and it will not only collect the rain water that falls in the Cathedral square but also the runoff water that comes from the park 21 of May thanks to the slop that already exists from the park to the cathedral square.



After the realization of this Degree Final Project we can conclude that if this study were made in a not poor country, the criteria would have been the same but the weights of each criteria would have been different and so the best alternative could have not been the same.

Since the first analysis where we select the best SUDS to elaborate the alternatives the results would have been different. This would have happened because a not poor country can afford a bigger construction or maintenance cost to get better results in the long term and also, they have more qualified personal to design the SUDS and to run them.

Contenido

1	Introducción	15
1.1	Antecedentes	15
1.2	Objetivos	17
1.3	Conceptos fundamentales.....	18
1.3.1	SUDS	18
1.3.2	Análisis Multicriterio	18
1.3.3	Condicionantes generales de países empobrecidos.....	20
2	Catálogo de SUDS	22
2.1	Medidas estructurales.....	22
2.1.1	Pavimentos permeables.....	22
2.1.2	Cubiertas verdes	24
2.1.3	Depósitos y estanques de infiltración.....	26
2.1.4	Pozos y zanjas de infiltración	27
2.1.5	Cunetas verdes	29
2.1.6	Drenes filtrantes o franceses	31
2.1.7	Franjas filtrantes	32
2.1.8	Depósitos superficiales de detención	33
2.1.9	Estanques de retención.....	35
2.1.10	Áreas de biorretención	36
2.1.11	Filtros de arena	38
2.1.12	Humedales artificiales	39
2.2	Medidas no estructurales.....	41
3	Métodos de selección multicriterio	42
3.1	Proceso de toma de decisiones	42
3.2	Clasificación de los métodos multicriterio.....	43
3.3	Ponderación de criterios	44
3.3.1	Método de la ordenación simple	44
3.3.2	Metodología AHP	45
3.3.3	Método de la entropía	48
3.3.4	Método CRITIC	51

3.4	Métodos para elegir alternativas	56
3.4.1	Matriz de decisión de Pugh (Pugh's Design matrix)	56
3.4.2	Metodología TOPSIS	57
3.4.3	Metodología SAW	60
3.4.4	Método WASPAS	62
3.4.5	Método VIKOR	65
4	Selección de SUDS en países empobrecidos	68
4.1	Definición de criterios	69
4.2	Ponderación de los criterios	71
4.3	Selección de SUDS.....	73
4.3.1	Método TOPSIS	75
4.3.2	Método SAW	76
4.3.3	Método WASPAS	77
4.3.4	Selección final	79
5	Caso de estudio seleccionado	81
5.1	Descripción.....	81
5.2	Datos climáticos históricos	83
5.3	Características hidrográficas.....	85
5.4	Problemática	86
6	Aplicación de la metodología propuesta.....	88
6.1	Alternativas	88
6.1.1	Alternativa 1.....	89
6.1.2	Alternativa 2.....	91
6.1.3	Alternativa 3.....	92
6.1.4	Alternativa 4.....	93
6.2	Consideraciones preliminares de diseño.....	94
6.2.1	Áreas permeables	94
6.2.2	Cubiertas verdes	95
6.2.3	Zanjas filtrantes.....	98
6.3	Criterios de selección	99
6.3.1	Criterios económicos	99
6.3.2	Criterios sociales	101
6.3.3	Criterios ambientales.....	102

6.4	Ponderación de los criterios	104
6.5	Valoración de las alternativas	112
6.6	Selección final	115
7	Conclusiones.....	116
8	Referencias.....	118
ANEXO 1.....		
ANEXO 2.....		

ÍNDICE DE IMÁGENES

Imagen 1- Pavimiento permeable www.pinterest.com	23
Imagen 2- Pavimiento permeable www.construtivo.com	23
Imagen 3- Cubiertas verdes www.inbesters.com	25
Imagen 4- Sección transversal de cubiertas verdes www.construible.es	25
Imagen 5- Depósito de infiltración www.interempresas.net	26
Imagen 6- Zanjas de infiltración	28
Imagen 7- Pozo de infiltración www.researchgate.net	28
Imagen 8- Esquema cunetas verdes www.sudsostenible.com	30
Imagen 9- Cunetas verdes www.sudsostenible.com	30
Imagen 10- Esquema de drenes franceses www.sudsostenible.com	31
Imagen 11- Esquema franjas filtrantes www.sudsostenible.com	32
Imagen 12- Depósito superficial de detención www.savia-mediambiente.blogspot.com	34
Imagen 13- Depósito superficial de detención www.sudsostenible.com	34
Imagen 14- Estanque de retención www.aristegui.info	35
Imagen 15- Esquema de áreas de biorretención www.drenajesostenible.com	37
Imagen 16- Sección transversal de áreas de biorretención www.drenajesostenible.com	37
Imagen 17- Esquema de filtros de arena www.valleinferior.es	38
Imagen 18- Esquema humedales artificiales www.construyored.com	40
Imagen 19- Humedales artificiales www.sudsostenible.com	40
Imagen20- Croquis de metodología TOPSIS	57
Imagen 21- Localización de Córdoba, Veracruz; http://ceieg.veracruz.gob.mx/	82
Imagen 50- Gráfico ilustrativo de las precipitaciones en tabla 33; elaboración propia ..	84
Imagen23- Microcuencas del río Seco https://www.researchgate.net/publication/262739046_Enfoque_de_cuenca_para_la_i dentificacion_de_fuentes_de_contaminacion_y_evaluacion_de_la_calidad_de_un_rio_ Veracruz_Mexico	85
Imagen 24- Cuenca Papaloapan www.conabio.gob.mx	85
Imagen 25- Foto inundaciones parque 21 de mayo https://th.bing.com/	86
Imagen 26- Foto aérea parque 21 de mayo https://www.bing.com/	87
Imagen27- mapa con zonas contempladas en alternativas y ríos influyentes; Elaboración propia en Google earth	88
Imagen 28- vista aérea parque 21 de Mayo (maps)	89

Imagen 29- vista lateral parque 21 de Mayo (Google earth)	90
Imagen 30- Áreas vegetadas protegidas en parque 21 de Mayo (Google earth)	90
Imagen 31- Vista aérea plaza de catedral y parque 21 de Mayo (Google earth)	91
Imagen 32- Vista aérea azotea del palacio municipal (Google earth)	91
Imagen 33- Lateral y acera alrededor del parque San José (Google earth)	92
Imagen 34- Interior parque San José con pavimento impermeable (maps)	92
Imagen 35- Boulevard Córdoba-Fortín de las flores (Google earth).....	93
Imagen 36- Sección transversal boulevard Córdoba-Fortín de las flores (maps)	93
Imagen 37- Sección transversal firme permeable https://es.scribd.com/document/381125324/FIRMES-PERMEABLES-pdf	94
Imagen 38- Palacio municipal de Córdoba (maps)	95
Imagen 39- Sección cubierta verde	96
Imagen 40- Sección cubierta verde con encuentro de pilar www.ordenjuridico.gob.mx	96
Imagen 41- Encuentro cubierta verde con bajada de agua www.ordenjuridico.gob.mx	97
Imagen 42- Secciones de zanja; NOM-006-CNA-1997	98

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1- Tabla ordenación y puntuación de criterios; Método de la ordenación simple	44
Tabla 2- Ejemplo tabla ordenación y puntuación de criterios; Método de la ordenación simple	44
Tabla 3- Ejemplo pesos; Método de la ordenación simple	45
Tabla 4- Tabla inicio de metodología AHP; elaboración propia	45
Tabla 5- Puntuación matriz AHP; Saaty	46
Tabla 6- Ejemplo puntuación matriz AHP; Elaboración propia	46
Tabla 7- Normalización por la suma, metodología AHP; elaboración propia.....	46
Tabla 8- Normalización por la suma, metodología AHP; elaboración propia.....	47
Tabla 9- Matriz de decisión, método de la entropía; elaboración propia.	49
Tabla 10- Ejemplo de matriz de decisión, método de la entropía; elaboración propia...	49
Tabla 11- Ejemplo normalización por la suma, método de la entropía; elaboración propia	49
Tabla 12- Ejemplo normalización por la suma, método de la entropía; elaboración propia	49
Tabla 13- Ejemplo pesos, método de la entropía; elaboración propia.....	51
Tabla 14- Matriz de decisión, método CRITIC; elaboración propia.	51
Tabla 15- Ejemplo matriz de decisión, método CRITIC; elaboración propia.	52
Tabla 16- Ejemplo de matriz de decisión normalizada por el rango, método CRITIC; elaboración propia.....	52
Tabla 17- Tabla de correlación de criterios	54
Tabla 18- Ejemplo tabla de correlación de criterios	54
Tabla 19- Ejemplo pesos normalizados; método CRITIC	55
Tabla 20- Matriz de decisión de Pugh; elaboración propia	56
Tabla 21- Ejemplo de matriz de decisión Pugh; elaboración propia.....	56
Tabla 22- Matriz de decisión para metodología Topsis; elaboración propia	57
Tabla 23- Ejemplo matriz de decisión para metodología Topsis; elaboración propia	58
Tabla 24- Ejemplo matriz de decisión para metodología Topsis; elaboración propia	58
Tabla 25- Ejemplo matriz normalizada para metodología Topsis; elaboración propia ...	58
Tabla 26- Ejemplo matriz ponderada para metodología Topsis; elaboración propia	58
Tabla 27- Ejemplo PIS y NIS para metodología Topsis; elaboración propia	59
Tabla 28- Ejemplo distancia al PIS y NIS para metodología Topsis; elaboración propia ..	59
Tabla 29- Matriz decisión metodología SAW; elaboración propia.....	60
Tabla 30- Ejemplo valor óptimo metodología SAW; elaboración propia	61

Tabla 31- Normalización metodología SAW; elaboración propia	61
Tabla 32- Matriz decisión metodología WASPAS; elaboración propia	62
Tabla 33- Ejemplo valor óptimo metodología WASPAS; elaboración propia	62
Tabla 34- Normalización metodología WASPAS; elaboración propia	63
Tabla 35- Matriz de decisión para metodología Vikor; elaboración propia	65
Tabla 36- Ejemplo matriz de decisión para metodología Vikor; elaboración propia	65
Tabla 37- Normalización método VIKOR; elaboración propia	66
Tabla 38- Distancias con matriz normalizada, método VIKOR; elaboración propia	66
Tabla 39- Escala Saaty (Saaty, 2000)	71
Tabla 40- Matriz de pesos del caso particular. Elaboración propia	72
Tabla 41- Pesos finales del caso particular. Elaboración propia	72
Tabla 42- SUDS manual	74
Tabla 43- Elaboración propia	74
Tabla 44- Puntuación método Topsis del caso particular. Elaboración propia	75
Tabla 45- Puntuación final método SAW del caso particular. Elaboración propia	76
Tabla 46- Puntuación final método WASPAS del caso particular. Elaboración propia	77
Tabla 47- Clasificación final método WASPAS del caso particular. Elaboración propia...	77
Tabla 48- Clasificación final del caso particular. Elaboración propia	79
Tabla 49- Temperatura y precipitación de Córdoba https://es.climate-data.org/	83
Tabla 50- Coste ejecución de zanjas filtrantes (México, 2020)	100
Tabla 51 -Matriz de decisión (elaboración propia)	104
Tabla 52- Matriz de decisión. Elaboración propia	108
Tabla 53- Matriz de decisión. Elaboración propia	109
Tabla 54- Matriz de decisión normalizada. Elaboración propia	109
Tabla 55- Matriz de decisión normalizada con desviación estándar. Elaboración propia	110
Tabla 56- Matriz de cov entre criterios. Elaboración propia	111
Tabla 57- Matriz de correlación entre criterios. Elaboración propia	111
Tabla 58- Matriz de decisión con pesos del caso particular. Elaboración propia	112
Tabla 59- Matriz de decisión normalizada con pesos del caso particular. Elaboración propia	112
Tabla 60- Matriz de decisión normalizada multiplicada por sus pesos del caso particular. Elaboración propia	113
Tabla 61- Matriz de decisión con distancias PIS y NIS del caso particular. Elaboración propia	113
Tabla 62- Normas para cumplimentar encuesta- elaboración propia	122

Tabla 63- Modelo de encuesta- elaboración propia.....	123
Tabla 64 -Matriz de decisión. Elaboración propia.....	158

1 Introducción

1.1 Antecedentes

El presente Trabajo de Fin de Grado tiene como finalidad describir las principales técnicas de análisis multicriterio orientadas a la toma de decisiones y los principales Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS), para después utilizar una metodología de análisis multicriterio para seleccionar los SUDS a utilizar en países empobrecidos de acuerdo con las características particulares de estos.

Los países empobrecidos como se explica en el apartado 1.3.3 “Condicionantes generales de países empobrecidos” a menudo están más concienciados acerca de la gravedad del cambio climático, debido a que sus efectos son más notables en países en vías de desarrollo que en países desarrollados. Esto se debe a que los efectos del cambio climático, como puede ser el aumento de inundaciones, provocan consecuencias mucho más graves en países empobrecidos, en gran parte debido a la falta de infraestructura o deficiencia de la infraestructura existente para combatir las consecuencias de estos. Así, la mejora del drenaje en estos países supondría una mejora de la calidad de vida de sus habitantes. Por el mismo motivo, dentro de un mismo país, existe más concienciación sobre el cambio climático en sus habitantes que viven en zonas rurales, que en los que viven en zonas urbanas.

El cambio climático está provocando un aumento del nivel del mar, en estos países sin buena infraestructura esto supone que el mar alcanza las tierras de cultivo costeras, el suelo cercano adquiere una mayor cantidad de sal y como consecuencia la cosecha se ve disminuida. Además, durante las épocas de sequía, algunas zonas no disponen del agua suficiente y deben racionarla, el hecho de disponer de medios para aprovechar el agua de la lluvia podría suponer un cambio muy importante para la población de estas zonas, de manera que podrían disponer de agua dulce susceptible de ser potabilizada como de agua para regadío. Con todo, los problemas de gestión de agua de lluvia generan el desbordamiento de los sistemas de drenaje cuando estos no están bien diseñados, lo cual es habitual en países empobrecidos debido al aumento de las zonas urbanizadas. También se generan problemas de contaminación difusa debido al rebose de aguas residuales y pérdida de los servicios urbanos (Sañudo-Fontaneda, y otros, 2012).

El 12 de diciembre del 2015 se firmó el acuerdo de París para combatir los efectos del cambio climático, el cual incluía ayudar a países en desarrollo a afrontar mejor los cambios y daños producidos con la finalidad de alcanzar la meta común de adaptarse a los cambios producidos por el cambio climático. Este acuerdo entró en vigor en 2016 y actualmente es un marco de referencia para la toma de decisiones.

La toma de decisiones no es algo fácil de abordar. La dificultad está en el desconocimiento de todas las alternativas que se pueden considerar o en el posible conflicto que puede aparecer entre los valores individuales y colectivos. Decidir implica tener que responsabilizarse sobre las consecuencias a corto y largo plazo, y si esto implica un factor humano se vuelve mucho más complejo. Es por esto por lo que un análisis multicriterio

detallado sobre las alternativas es muy importante a la hora de tomar una buena decisión. El análisis multicriterio facilita una evaluación y comparación objetiva, sistemática, ponderada, coherente y eficiente de las alternativas. Para el empleo del análisis multicriterio es necesario definir las alternativas existentes, los atributos que definen dichas alternativas, los objetivos a alcanzar con dichos atributos, la meta de las alternativas y los criterios que dan relevancia a los diferentes atributos, objetivos y metas.

Para seleccionar los sistemas de drenaje sostenible adecuados a una zona es necesaria la integración medioambiental de estos. Los factores a tener en cuenta van desde las cuencas existentes, áreas de aportación, vaguadas, precipitaciones, coeficientes de escorrentía, coeficiente de infiltración del suelo y sus características, hasta la calidad paisajística, entorno arquitectónico y usos urbanos.

El drenaje urbano consiste en la gestión del agua de lluvia precipitada. Actualmente y sobre todo en países poco desarrollados, esta gestión solo consiste en el movimiento del agua hacia otro lugar, esto acaba provocando problemas, tales como, contaminación difusa, inundaciones y pérdida de servicio de sistemas de saneamiento. Otros factores que aumentan estos problemas son la insuficiencia de la infraestructura de drenaje, el cambio climático, el hecho de que el terreno está cada vez más impermeabilizado provocando problemas de escorrentía superficial y la falta de sensibilidad social. (Luis Angel Sañudo-Fontaneda, 2012)

El drenaje sostenible pretende disminuir estos problemas para gestionar mejor el agua de lluvia y evitar pérdidas de servicio, requiriendo de una adecuada metodología multicriterio para asegurar que las decisiones que se toman tienen en cuenta los condicionantes particulares de los países empobrecidos, especialmente en lo referido a adaptación al cambio climático.

1.2 Objetivos

Los objetivos de este trabajo fin de grado son:

1. Definir el método multicriterio para la toma de decisiones, explicando su utilidad y desarrollando los pasos para su uso, sus ventajas y desventajas. Se definen igualmente las diferencias entre los métodos de toma de decisiones multicriterio transparentes y los métodos multicriterio opacos que se usaban anteriormente.
2. Estudiar detalladamente la problemática actual del drenaje urbano en países empobrecidos, sus consecuencias sociales y económicas; así como de los posibles problemas futuros debidos a las particularidades de estos países y los efectos del cambio climático.
3. Detallar principalmente las diferentes medidas estructurales existentes para que el drenaje urbano pueda considerarse como sostenible, explicando su funcionamiento, usos típicos, ventajas y desventajas, mantenimiento y rendimiento. En menor medida, también se abordarán las medidas no estructurales que ayudan a que el drenaje urbano sea sostenible, tales como la legislación, formación, limpieza, mantenimiento e inversión.
4. Establecer un caso de estudio en el contexto de un área empobrecida, y plantear diferentes alternativas para modernizar el drenaje de la zona de forma que sea sostenible, analizando sus costes, ventajas, desventajas y viabilidad.
5. Aplicar la metodología multicriterio para seleccionar una de las alternativas de manera coherente mediante la ponderación de las diferentes acciones contempladas, discutiendo los pasos seguidos y los resultados obtenidos.

Para responder a estos objetivos, primero se analizará el catálogo de SUDS, proponiendo un método multicriterio adaptado a las características de los países empobrecidos. Así, se elegirá un método de ponderación de criterios que resulte apropiado para analizar los criterios con datos cualitativos, ya que no se dispone de las dimensiones de cada sistema de drenaje, y se analizarán los diferentes SUDS como si cada uno constituyera una alternativa diferente.

En segundo lugar, se utilizarán los SUDS que hayan resultado más apropiados para este tipo de países en general, para elaborar diferentes alternativas de actuación posibles en el caso concreto de estudio. En esta fase ya se dispondrán de datos cuantitativos para su análisis, que permitirán aplicar un segundo método multicriterio, enfocado a la selección de alternativas concretas.

1.3 Conceptos fundamentales

1.3.1 SUDS

Las técnicas que integran los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS), o técnicas SUDS, pretenden solucionar la problemática que produce en el drenaje urbano el incremento de las zonas urbanas. El problema principal suele ser la impermeabilización de las superficies, lo cual hace que aumente al caudal de agua de escorrentía y que los colectores, diseñados para gestionar un caudal inferior, se saturen y no sean capaces de gestionar el nuevo caudal. Esto produce el aumento de las inundaciones y una mayor contaminación del agua que llega a los colectores (Luis Angel Sañudo-Fontaneda, 2012).

Todavía es necesario que muchos países incorporen este tipo de sistemas de drenaje ya que actualmente es una técnica extendida solo en países como Reino Unido, Estados Unidos, Dinamarca, Alemania y Suecia. Cada vez se está extendiendo más su uso en países desarrollados como España, por ejemplo, mediante redes de trabajo. Así, en el 2008 nació un proyecto de difusión llamado RedSuDS, llevado a cabo por el Grupo de Investigación de Tecnología de la Construcción de la universidad de Cantabria 'GITECO-UC' con el apoyo de la Sociedad Regional I+D+I de Cantabria 'SODERCAN'.

Sin embargo, todavía es una necesidad en países subdesarrollados, los cuales no solo son más afectados por problemas como las inundaciones, sino que en muchos casos son países que carecen de un sistema eficiente de gestión del agua, y también podrían beneficiarse de la recolección del agua de lluvia para otros usos como puede ser el regadío.

1.3.2 Análisis Multicriterio

Hasta que aparecieron los primeros métodos multicriterio transparentes para la toma de decisiones, se utilizaban métodos multicriterio opacos, donde los criterios que se tenían en cuenta para su valoración y el peso que se le daba a cada uno de ellos dependían directamente del decisor.

La problemática respecto a la toma de decisiones viene dada por la dificultad en la definición del propio problema. Con regularidad se trata de conjuntos de problemas que requieren un conjunto de actuaciones, pero en ocasiones estas actuaciones están enfrentadas entre sí debido a que la mejora de un problema concreto puede suponer el incremento en la deficiencia de otro de los problemas, así la situación se vuelve más compleja cuantos más problemas están relacionados entre sí. El proceso de toma de decisiones está explicado en el apartado 3.1.

Para abordar un problema existen diferentes criterios de selección de alternativas, en la mayoría de ellos la perspectiva del encargado de la toma de decisión juega un papel decisivo, dado que su experiencia, intuición y juicio influyen en la decisión adoptada. Es por eso por lo que cada vez se utilizan más métodos que emplean técnicas cuantitativas que ayudan a la toma de decisión, como el método multicriterio en el que se deben

ponderar todas las diferencias significativas entre las propuestas para poder compararlas y seleccionar la más apropiada. Con este método se evalúan y ponderan tanto criterios cuantitativos como cualitativos. Es necesario un previo estudio, para que dicha valoración se lleve a cabo con rigor científico y transparencia ya que no existe normativa que indique el criterio de puntuación (Garza Ríos, 2021).

Este método para la toma de decisiones no es novedoso. El primer caso conocido del uso de este método se dio en 1772 por el químico B. Franklin. Con este método, al que llamó “Álgebra moral o prudencial”, ya se asignaban diferentes pesos subjetivos a diferentes criterios que influían en la toma de decisión.

Actualmente se han desarrollado muchos programas informáticos especializados para la ejecución de los distintos métodos de decisión multicriterio. Por ejemplo, en la página oficial de la sociedad internacional de decisión multicriterio (Ehrgott, 2019) ‘International Society on Multiple Criteria Decision Making’ se pueden utilizar distintos programas de toma de decisión multicriterio.

Además, la toma de decisiones multicriterio se está extendiendo cada vez a más campos como la sanidad, gestión medioambiental, industria, recursos humanos, construcción, producción, etc.

En cualquier análisis multicriterio es necesario seleccionar un método para ponderar los diferentes criterios contemplados y otro método para valorar las diferentes alternativas.

Las principales ventajas del método multicriterio son:

- Facilita encontrar una solución a problemas complejos.
- Es un método racional, fácil de comprender que analiza simultáneamente varios factores para obtener la mejor opción.
- Permite evaluar alternativas con criterios en conflicto.

Las principales desventajas son:

- Requiere tiempo y recursos adicionales ya que se necesita un cierto acuerdo entre los decisores para elegir las alternativas a evaluar, los criterios a contemplar y los pesos de estos.
- Necesita un cierto grado de tecnicidad para aplicar los métodos correctamente.
- Hay que tener cuidado con la subjetividad que puede adquirirse por utilizar datos provenientes de fuentes con intereses particulares.

Como ejemplo de aplicación del análisis multicriterio, en el XIV congreso internacional de proyectos de ingeniería (Munier, y otros, 2010) se expone la problemática de la autopista E98 colapsada en su parte central por tener gran tráfico. El ayuntamiento propone las siguientes alternativas:

1. Construir sobre la actual autopista otra elevada.
2. Añadir dos carriles adicionales a cada sentido en la autopista existente.
3. Construir otra autopista paralela al mismo nivel.

4. Construir un baipás desde el sur que empalme con la autopista existente a la salida de la ciudad por el oeste, y a la entrada por el este.

Todas estas alternativas podrían satisfacer la necesidad de disminuir el tráfico en esta autopista, pero era necesario valorar los criterios para seleccionar la alternativa más adecuada.

En este ejemplo se consideran diferentes criterios, algunos técnicos, otros estadísticos y otros obtenidos mediante encuestas con los cuales se intentará elegir la alternativa más conveniente.

Los criterios contemplados en este caso fueron:

1. Política regional y del ayuntamiento.
2. Opinión ciudadana.
3. Temas ambientales y de paisajismo.
4. Temas económicos
5. Volumen de tránsito.
6. Flujo de tránsito.
7. Seguridad en el tránsito.
8. Tránsito urbano.
9. Tránsito regional.
10. Beneficios económicos directos.
11. Beneficios económicos indirectos.
12. Calidad del aire.
13. Generación del ruido.
14. Ecología

Tras este estudio, el ayuntamiento llegó a la conclusión de que la alternativa más ventajosa era añadir dos carriles adicionales a cada sentido en la autopista existente.

1.3.3 Condicionantes generales de países empobrecidos

Si analizamos en general los países empobrecidos podemos identificar características particulares que comparten, como la falta de educación o la poca calidad de esta. Dado que la implementación de medidas no estructurales para el drenaje sostenible se basa en la educación (Sustainable Drainage Systems (SUDS), 2005), como primer paso, sería muy positivo la activación de alguna campaña informativa que pudiese llegar a todos sus habitantes de una manera clara y concisa para facilitar su comprensión.

La falta de recursos económicos a priori puede ser el mayor condicionante, pero no debería ser un gran problema ya que hay medidas estructurales de bajo coste que son muy efectivas, y hay otras que, aunque no lo son tanto, a largo plazo también suponen un ahorro económico. Algunas de estas medidas permiten la captación del agua de lluvia para otro uso, mejorando su calidad y disminuyendo el agua necesaria para

abastecimiento, así como también disminuye el agua que llega a las plantas de saneamiento para recibir tratamiento.

Por ello, a la hora de evaluar los SUDS más apropiados en países empobrecidos deben contemplarse los criterios económicos a corto plazo, como el coste directo de ejecución; criterios económicos a largo plazo, como el mantenimiento; criterios ambientales, como la disminución del agua de escorrentía y la potencial creación de hábitat; y criterios sociales, como la aceptación comunitaria.

La organización mundial de la salud (OMS) ha alertado sobre las carencias de los sistemas de saneamiento y agua potable en estos países. Algunos de ellos sufren de largas sequías a lo largo del año por lo que la captación del agua de lluvia podría ser muy beneficiosa para aprovecharla en otros usos. Otros países empobrecidos, sin embargo, sufren de inundaciones año tras año debido a precipitaciones abundantes en un corto tiempo por lo que la disminución o captación temporal del agua de escorrentía o del agua que va a través del alcantarillado podría solventar dichos problemas. (Iagua, 2019)

Para definir correctamente los condicionantes de este tipo de países es necesario definir lo que se denomina 'Tecnología apropiada' (Arribas Giner, y otros, 2011). Este concepto surgió en los años 70's y promueve el uso de cierta tecnología dependiendo del contexto en el que vaya a aplicarse. Se caracteriza por su bajo coste, por el uso de recursos disponibles en la zona, por su sostenibilidad y por la facilidad de implementación por parte de la población afectada. Las tecnologías tradicionales suelen estar bien adaptadas al medio ambiente en el que se aplican y a las condiciones económicas y sociales locales, sin embargo, al irse desarrollando dicha sociedad, estas tecnologías tradicionales pueden volverse insuficientes en cuanto a producción o ingresos.

La tecnología apropiada supone la introducción de nuevas técnicas para ayudar al desarrollo, pero teniendo en cuenta el contexto en el que van a aplicarse. Se pretende que este avance se lleve a cabo utilizando los recursos disponibles en la zona; que las técnicas sean fáciles de implementar por parte de dicha sociedad; que sean de fácil mantenimiento con mínimos recursos para que puedan ser asumidos; que generen daños medioambientales mínimos; y que no den lugar a incrementos de diferencias sociales.

Por todo esto la tecnología más eficaz y eficiente no siempre resulta ser la más adecuada. En este caso de países empobrecidos, una tecnología que resulte en la mayor producción o generación de ingresos puede no ser la más apropiada si para implementarla es necesario importar recursos tanto para la construcción propiamente dicha como para el mantenimiento de esta, ya que dicho coste extra podría no ser asumible. De la misma manera, si la población no está capacitada para usar dicha tecnología a pesar de ser muy eficaz y eficiente no resultaría adecuado su uso. Todos estos condicionantes deben ser tenidos en cuenta a la hora de proponer una metodología multicriterio para la selección de SUDS en países empobrecidos.

2 Catálogo de SUDS

Hasta hace relativamente poco, los sistemas de drenaje se proyectaban exclusivamente para evacuar cierta cantidad de agua con la finalidad de evitar inundaciones sin tener en cuenta los contaminantes que arrastraba y el daño generado al medio ambiente. En la actualidad se estudia también la acción de estos sistemas de drenaje sobre el medio ambiente, intentando mejorar la calidad del agua antes de su vertido. (Abellán, 2016).

2.1 Medidas estructurales

Los contenidos de este apartado han sido obtenidos mayormente de “Sudsostenible” (Abellán, 2016), complementado con otros documentos debidamente referenciados para proponer la siguiente clasificación de las medidas estructurales (aquellas que requieren un proyecto de construcción):

- Técnicas de control en origen:
 - o Pavimentos permeables.
 - o Cubiertas verdes.
 - o Depósitos y estanques de infiltración.
 - o Pozos y zanjas de infiltración.
- Técnicas de recogida y transporte:
 - o Cunetas verdes.
 - o Drenes filtrantes o franceses.
 - o Franjas filtrantes.
- Técnicas de tratamiento:
 - o Depósitos superficiales de detención.
 - o Estanques de retención.
 - o Áreas de biorretención.
 - o Filtros de arena.
 - o Humedales artificiales.

2.1.1 Pavimentos permeables

Son pavimentos que permiten la recolección del agua de lluvia mediante infiltración directa a través del propio firme. Estos pavimentos son viables en zonas con poco tráfico y pueden utilizarse en zonas muy pobladas reduciendo picos en el caudal y contaminantes sin utilizar un emplazamiento para el uso exclusivo de la gestión del agua de escorrentía. (Pavimentos urbanos permeables, 2019)

Si se componen de varias capas cuyas permeabilidades deben ser crecientes desde la superficie hasta el subsuelo. Las áreas por drenar deben ser menores a 4 hectáreas con pendientes menores a 2-5%, la distancia al nivel freático debe ser mayor a 1,2m y la capacidad de infiltración mayor a 1,2mm/hora. Se utilizan geotextiles que funcionan como filtros y refuerzos estructurales.

Se utilizan en zonas con baja intensidad de tráfico (aparcamientos o calles residenciales) y no están recomendadas en zonas con grandes cantidades de metales pesados como podrían ser gasolineras o zonas industriales.

Ventajas

- Reducen picos de caudal disminuyendo riesgo de inundaciones aguas abajo.
- Reducen los niveles de contaminantes.
- Pueden usarse en zonas altamente pobladas.
- Bajo coste, ya que no requiere grandes excavaciones como en otros sistemas de drenaje.
- Flexibilidad en el diseño.
- Su ocupación en el suelo se aprovecha para el tráfico.
- Requiere de menos colectores
- Eliminan encharcamientos
- No requieren de mucho mantenimiento.

Desventajas

- No apto en zonas con muchos sedimentos superficiales.
- No apto con tráfico elevado.

Mantenimiento

- Hay que controlar el crecimiento de hierbas y obstrucciones.
- Hidrocarburos y metales pesados eliminados en capas inferiores necesitan un tratamiento especial



Imagen 1- Pavimento permeable www.pinterest.com



Imagen 2- Pavimento permeable www.constructivo.com

2.1.2 Cubiertas verdes

También conocidas como “Green-roof”, consisten en vegetar las azoteas de los edificios para interceptar el agua de lluvia, reduciendo el volumen de escorrentía, ya que la propia vegetación necesita parte, y reduciendo también la contaminación de esta mediante infiltración. Además, pueden tener un uso recreativo por lo que se le da una función añadida.

Interceptan el agua de lluvia reduciendo el volumen de escorrentía y el caudal pico. Es un sistema multicapa que favorece el crecimiento de vegetación sobre las cubiertas de los edificios. Además, retiene contaminantes y funcionan como aislamiento térmico.

Se debe disponer de una barrera para las raíces, una capa de drenaje para controlar el agua retenida.

Ventajas

- Alta capacidad de eliminación de contaminantes atmosféricos mejorando la calidad del aire.
- Ayudan a disminuir la contaminación acústica.
- Reducen la expansión y contracción de las membranas del techo gracias a que funcionan como aislante térmico.
- Mejoran la estética del edificio.
- No necesitan de un área exclusiva para su ejecución.
- Pueden usarse como zonas verdes.
- Aíslan térmicamente a los edificios.

Desventajas

- Tejado de mayor coste a los convencionales.
- No válido en tejados inclinados.
- La adaptación de una azotea ya construida depende de dicha estructura.
- Mantenimiento debido a la vegetación con posible aportación de agua en zonas calurosas.

Mantenimiento

- Riego durante establecimiento de la vegetación.
- Mantenimiento normal de cualquier vegetación.



Imagen 3- Cubiertas verdes www.inbesters.com

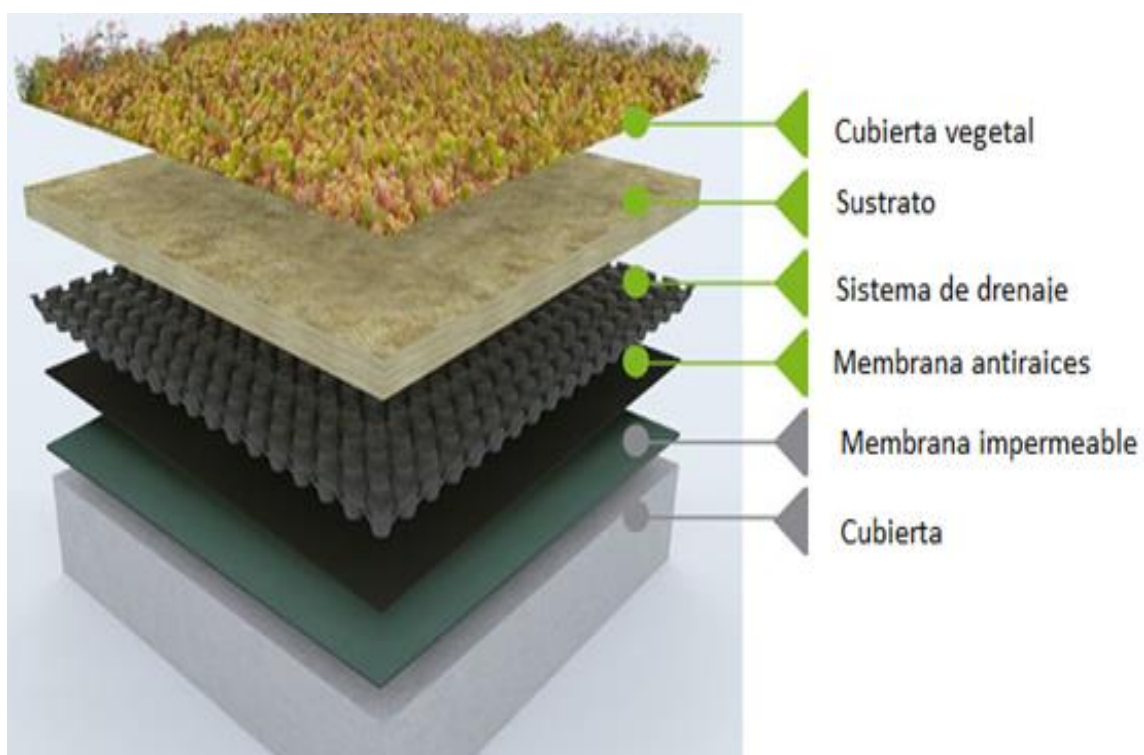


Imagen 4- Sección transversal de cubiertas verdes www.construible.es

2.1.3 Depósitos y estanques de infiltración

Depresiones en el terreno con poca profundidad para almacenar el agua de escorrentía e ir vertiéndolo al medio poco a poco, se diseñan con bases anchas y taludes vegetales suaves. Se eliminan los contaminantes mediante filtración, adsorción y transformaciones biológicas; los desagües inferiores deben diseñarse de forma que puedan desaguar en todo momento para no colapsar el sistema. (Sustainable Drainage Systems (SUDS), 2005)

El área por drenar debe ser inferior a 10ha y su ocupación en planta un 2-3% de dicha área. La pendiente de la zona de emplazamiento debe ser menor al 15% y el fondo debe de estar horizontal. Es necesario también que la cota de entrada y salida difieran alrededor de 90cm, que el nivel freático este a 1.2m de profundidad y disponer de un suelo muy permeable (infiltración mayor a 12mm/hora)

Ventajas

- Reduce el volumen de escorrentía y eliminan contaminantes por filtración
- Recarga aguas subterráneas
- Fácil y barato de construir

Desventajas

- Mala ubicación, diseño o mantenimiento inhabilita su funcionamiento.
- Estudios geotécnicos completos
- No apropiados si hay altas cargas de contaminantes.
- Necesitan área grande y sin pendiente.

Mantenimiento

- Inspecciones para detectar obturaciones.
- Limpieza de residuos y sedimentos.
- Limpieza de entradas y salidas del agua.
- Mantener buena vegetación.



Imagen 5- Depósito de infiltración www.interempresas.net

2.1.4 Pozos y zanjas de infiltración

Elementos con profundidad entre 1-3m rellenos de material granular que recogen y almacenan el agua de superficies impermeables contiguas.

Las zanjas son más estrechas y menos profundas que los pozos y más eficiente^{4s} desde el punto de vista constructivo; sobre todo controlan la calidad del agua, pero en parte también el caudal de escorrentía.

Trabajan en áreas en torno a 2 hectáreas y requieren de periodo seco entre tormentas. La distancia mínima al nivel freático debe ser de 1.2m para favorecer las exfiltraciones. Disponen de desagües de emergencia para cuando se supere la capacidad de diseño de forma que se envíe dicho sobrante a la red de alcantarillado.

Recogida del agua de caminos, parkings, zonas residenciales, comerciales e industriales.

Ventajas

- Disminuyen el caudal de la red de alcantarillado al recoger el agua procedente de tejados y azoteas
- Zanjas son aptas en zonas residenciales de densidad medio-alta y en zonas comerciales.

Desventajas

- No puede usarse en suelos poco permeables y deben quedar sobre el nivel freático para permitir exfiltraciones al terreno, dichas exfiltraciones pueden producir contaminación del suelo por lo que debe colocarse algún filtro en el conducto que transporta el agua hasta el pozo.
- Hay que evitar la cercanía con cimentaciones de edificaciones y carreteras.
- La infiltración del suelo debe ser mayor a 12mm/hora y no ha de tener arcillas.
- Se obstruyen con facilidad.
- Difícil de detectar obstrucciones.

Mantenimiento

- Inspecciones periódicas para detectar obstrucciones.
- Retirada de sedimentos.
- Retirada y limpieza de materiales filtrantes.

Zanjas de infiltración



Imagen 6- Zanjas de infiltración

Pozo de infiltración

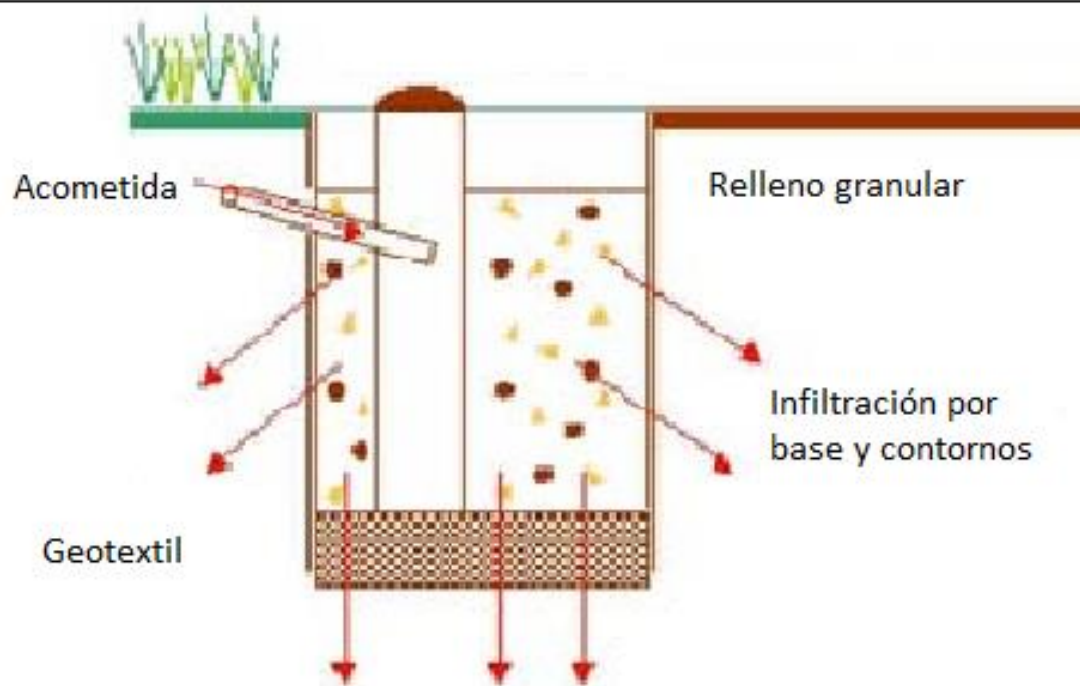


Imagen 7- Pozo de infiltración www.researchgate.net

2.1.5 Cunetas verdes

Se trata de zonas lineales con cierta pendiente, poco profundas y con vegetación que permite la captación del agua de escorrentía con mejora de la calidad de esta gracias a la sedimentación. Esta medida es muy utilizada en aparcamientos y calles de zonas muy permeables.

Estructuras lineales cubiertas de vegetación con poca profundidad y pendiente (3H:1V) para captar un volumen de agua a baja velocidad de manera que las partículas en suspensión puedan sedimentarse y no provoquen problemas de erosión.

Sirven principalmente para tratar agua en escorrentía en calles o aparcamientos y el área total por drenar debe ser menor a dos hectáreas y su base entre un 10 y 20%

Ventajas

- Buena incorporación paisajística.
- Elimina contaminantes urbanos.
- Reducen coeficiente de escorrentía.
- Bajo costo
- Fácil detección de elementos que obstaculicen su funcionamiento

Desventajas

- Si están sobre zonas subterráneas protegidas deben sellarse en su zona inferior para evitar infiltraciones.
- No aptas en zonas escarpadas.
- No admite la colocación de árboles.
- Riesgo de bloqueo en la conexión con el colector.

Mantenimiento

- Retirada de residuos y elementos que obstaculicen su funcionamiento.
- Poda periódica.
- Limpieza de entrada a alcantarillas.
- Reparación de áreas erosionadas

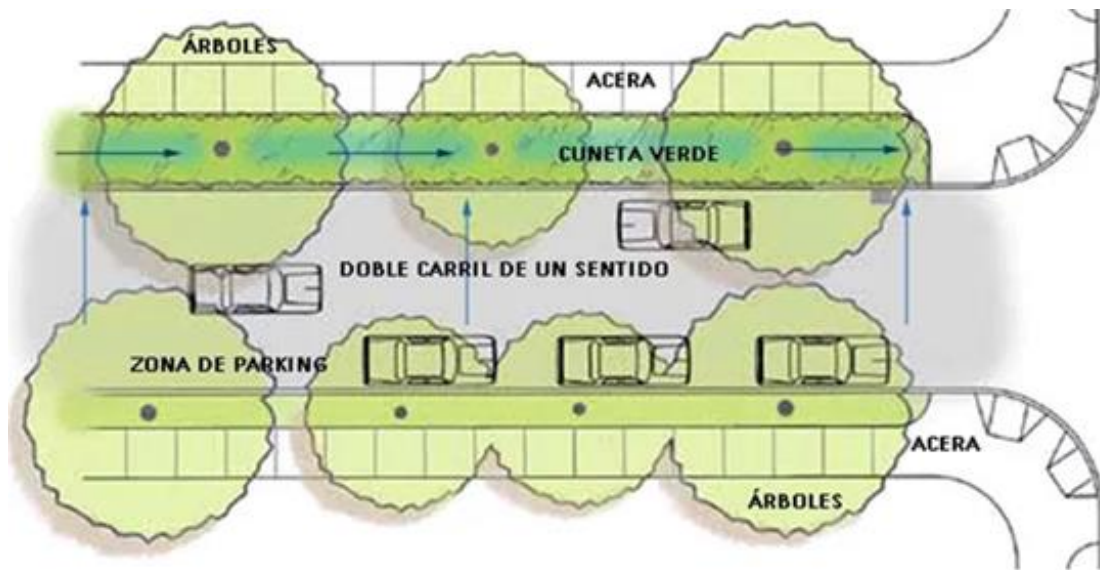


Imagen 8- Esquema cunetas verdes www.sudsostenible.com



Imagen 9- Cunetas verdes www.sudsostenible.com

2.1.6 Drenes filtrantes o franceses

Consisten en zanjas poco profundas recubiertas de geotextil y rellenas con material filtrante y con un conducto inferior de transporte. Captan el agua de escorrentía, la infiltran y ayudan a la laminación de la escorrentía. Se debe garantizar que el agua circule lentamente para garantizar que se infiltre a través del geotextil, así, parte del agua se infiltra y solo parte se conduce a la zona de vertido.

Ventajas

- Ayudan a la infiltración del agua en zonas de baja permeabilidad
- Ralentizan el flujo del agua disminuyendo el caudal punta.

Desventajas

- Pueden poner en peligro la estabilidad de estructuras cercanas.
- Es necesario vegetar la superficie del dren o asfaltar con mezcla drenante si hay paso de tráfico.

Mantenimiento

- Limpieza periódica de residuos

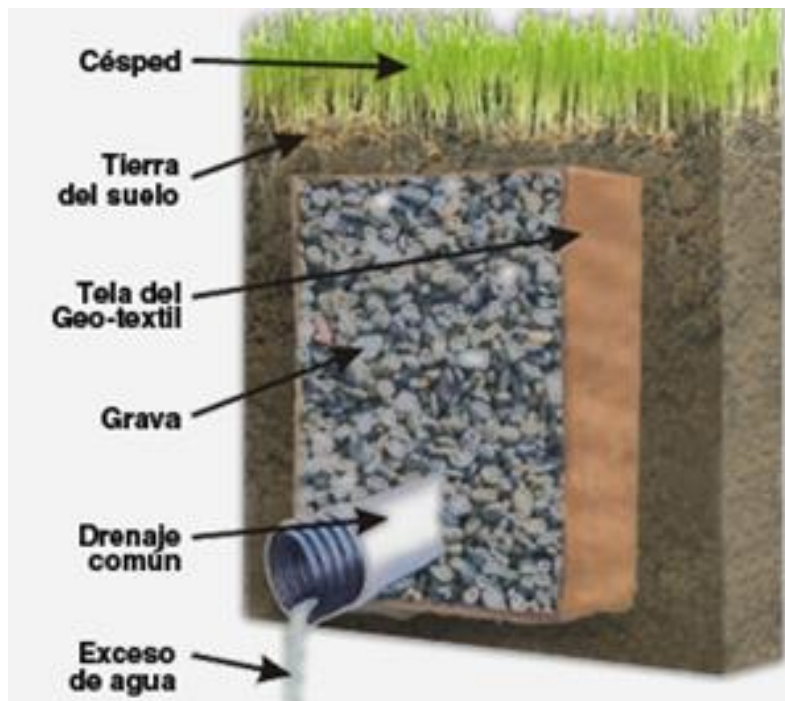


Imagen 10- Esquema de drenes franceses www.sudsostenible.com

2.1.7 Franjas filtrantes

Franjas anchas cubiertas de vegetación con poca pendiente que favorecen la sedimentación de contaminantes y la infiltración del agua. Cuanto más ancha es la franja y la densidad de la vegetación aumenta la capacidad filtrante y el grado de depuración. Se sitúan cerca de zonas impermeables para la captación del agua de lluvia de dicha zona mejorando su calidad por filtración

Ventajas

- Sirven para tratar la escorrentía de grandes superficies impermeables
- Facilitan también la evaporación del agua.
- Fácil construcción y bajo coste.
- Muy efectiva como tratamiento previo a otro tipo de drenaje.
- Buena integración con el paisaje (buena estética)

Desventajas

- No adecuadas en zonas inclinadas.
- No para aguas muy contaminadas ni si existen acuíferos cerca.
- No disminuyen significativamente el volumen de agua de escorrentía ni el caudal pico.

Mantenimiento

- Inspecciones y limpiezas periódicas.
- Cuidado de la vegetación.
- Reparación de zonas erosionadas.

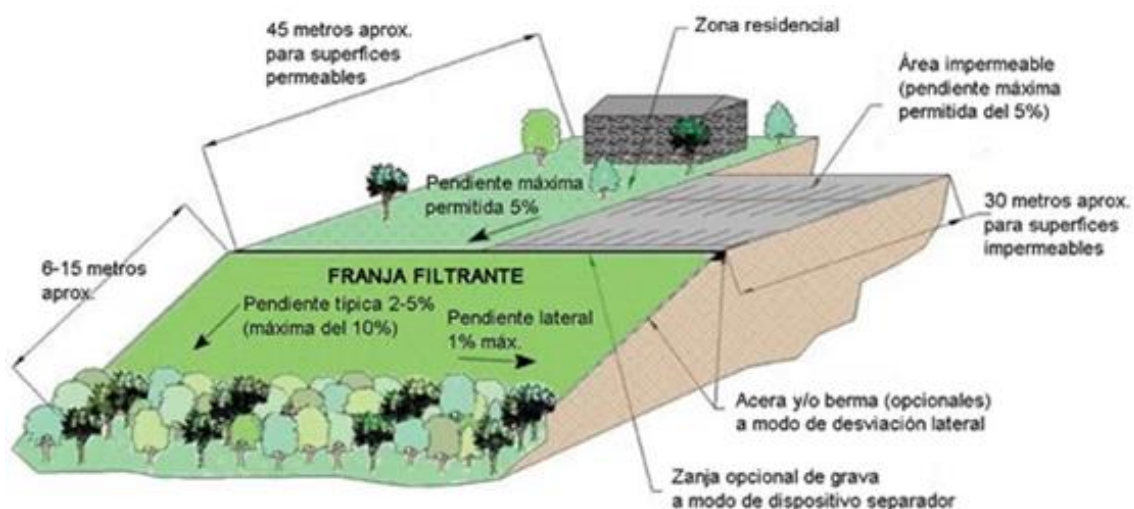


Imagen 11- Esquema franjas filtrantes www.sudsostenible.com

2.1.8 Depósitos superficiales de detención

Son depósitos que almacenan agua, no de forma permanente, por lo que también se llaman depósitos secos, laminando caudales punta y disminuyendo el riesgo de inundación. Esta agua puede utilizarse para posibles riegos o limpieza, por lo que baja la demanda a la red de abastecimiento. Disminuyen el riesgo de inundaciones. Eliminan contaminantes por sedimentación; el área a drenar debe ser entre 4 y 30 hectáreas con pendiente longitudinal menor al 15% y requiere la impermeabilización previa del suelo.

Aprovechamiento o fabricación de depresiones del terreno para retener agua en zonas residenciales aportando un uso paisajístico e incluso recreativo.

Ventajas

- El agua almacenada puede usarse para distintos fines como la limpieza o el riego, disminuyendo la demanda a la red de abastecimiento.
- Disminuye el volumen de agua a tratar por la red de saneamiento ya que retiene parte del agua de lluvia.
- Si el agua retenida no se usa para consumo, la instalación es barata ya que no necesita tratamiento previo.

Desventajas

- Caro si hay que instalar sistema de tratamiento para el consumo directo del agua.
- No atractivo por lo que no aporta valor paisajístico

Mantenimiento

- Eliminación periódica de residuos.
- Mantenimiento propio de la vegetación.
- Limpieza de entradas y salidas del agua.
- Control y limpieza de sedimentos.



Imagen 12- Depósito superficial de detención www.savia-mediambiente.blogspot.com



Imagen 13- Depósito superficial de detención www.sudsostenible.com

2.1.9 Estanques de retención

Se trata de lagunas creadas artificialmente para la retención permanente de agua de lluvia, muy adecuadas para la flora y fauna acuática, las cuales ayudan a la biodegradación que, junto con la sedimentación que se produce en estas lagunas, generan una mejora de la calidad del agua. Deben tener una profundidad entre 1,2-2m para ayudar a la proliferación de fauna acuática y flora.

Garantizan largos periodos de retención del agua por lo que se usan para gestionar la escorrentía en zonas residenciales de no muy alta densidad.

Ventajas

- Capacidad de gestión para tormentas con periodo de retorno alto
- Eliminan bastantes contaminantes urbanos.
- Con suelo impermeabilizado puede usarse cerca de zonas con aguas subterráneas vulnerables.
- Alto potencial ecológico, paisajístico y posible uso recreativo.

Desventajas

- Grandes áreas de drenaje (10ha) con pendiente longitudinal menor al 15%
- Si hay acuíferos cerca debe impermeabilizarse su base para no afectarlos.
- Especies invasoras pueden aumentar el mantenimiento previsto.

Mantenimiento

- Eliminación de residuos.
- Mantenimiento de la vegetación.
- Controlar nivel de sedimentos en base y retirada cuando sea necesario.
- Limpieza de zonas de entrada y salida del agua.



Imagen 14- Estanque de retención www.aristegui.info

2.1.10 Áreas de biorretención

Son depresiones ajardinadas con poca profundidad que filtran el agua para eliminar la contaminación mediante vegetación y reducir el agua de escorrentía. Por lo tanto, ayudan no solo a la gestión del agua sino también a la mejora de su calidad previa al vertido al medio.

Esta técnica de drenaje pretende controlar la calidad del agua antes de su vertido al medio, son zonas que facilitan la infiltración del agua mediante un suelo permeable y un dren colector de arena o gravilla, mediante vegetación se disminuye la contaminación. Se coloca una franja filtrante que disminuye la velocidad del agua de escorrentía y ayudar así a que las sustancias de mayor tamaño queden retenidas. La capa vegetal favorece el crecimiento de microorganismos que eliminan hidrocarburos y materia orgánica y ayuda también a la estabilización del suelo. (Shaffer, 2021)

Son zonas no transitables como pueden ser medianas de carreteras o islas en estacionamientos.

Esta técnica trata la escorrentía de una hectárea, para una superficie mayor hay que disponer de varias áreas de biorretención

Ventajas

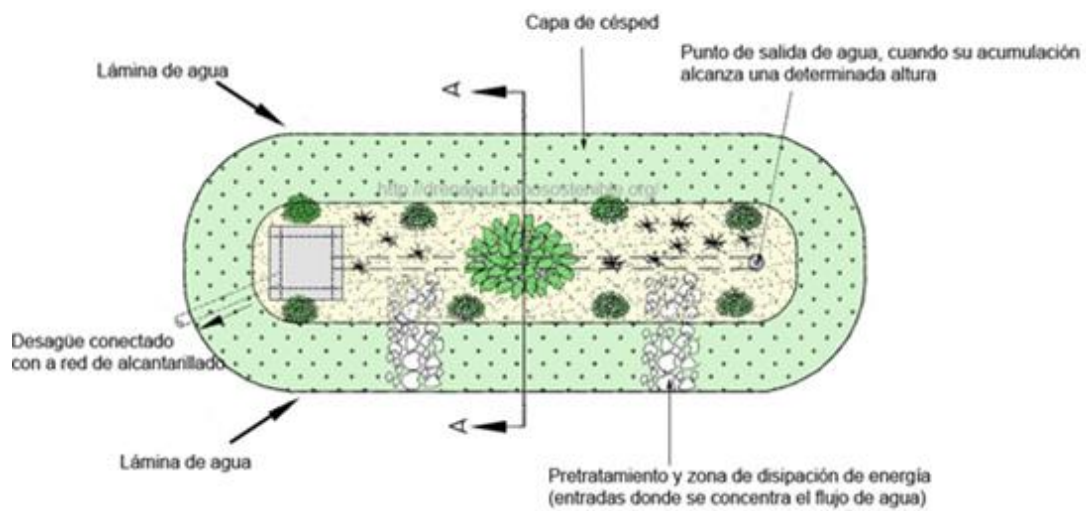
- Reducción de escorrentía en zonas impermeables
- Eliminan sedimentos, metales pesados, bacterias y materia orgánica.
- Diseño flexible y buena estética

Desventajas

- No apropiadas para pendientes superiores al 15%
- Si se prevén altas cargas de sedimentos es necesario algún tipo de pretratamiento

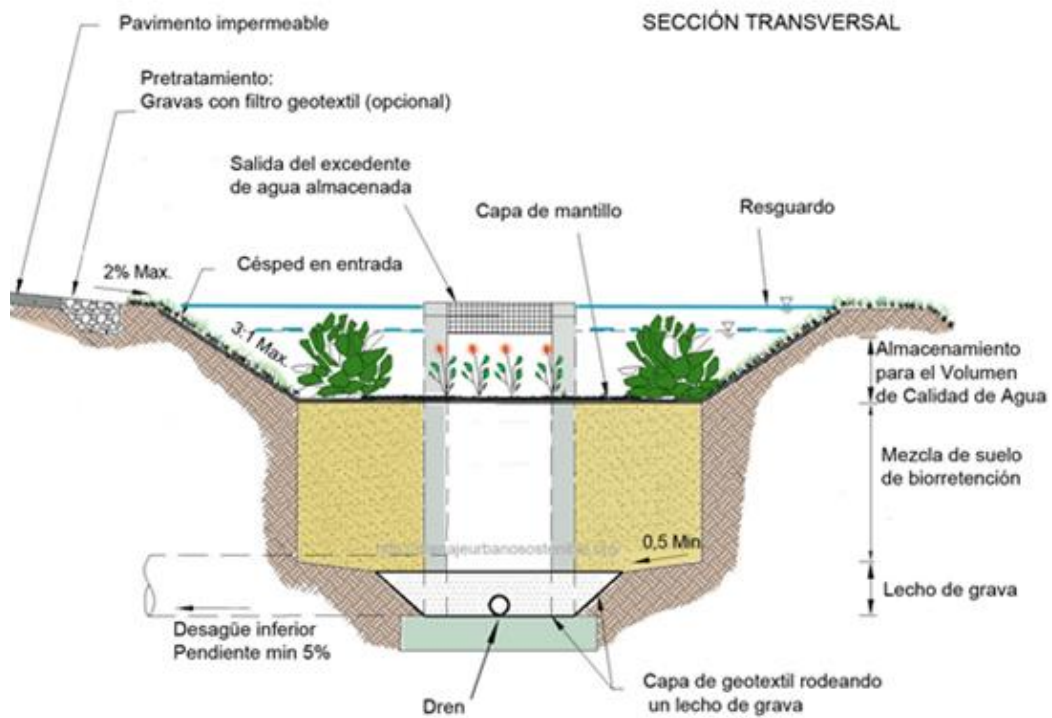
Mantenimiento

- El mismo que cualquier zona ajardinada
- Control de sedimentos en zona ajardinada



SECCION EN PLANTA

Imagen 15- Esquema de áreas de biorretención www.drenajesostenible.com



SECCIÓN TRANSVERSAL

Imagen 16- Sección transversal de áreas de biorretención www.drenajesostenible.com

2.1.11 Filtros de arena

Estos elementos almacenan agua temporalmente y ayudan a su filtración y sedimentación mediante el paso del agua a través de varias capas de arena. Posteriormente el agua puede dirigirse al alcantarillado o al propio subsuelo. La pendiente debe ser menos a seis metros y el flujo no debe ser permanente.

Existen diferentes tipos:

- Perimetrales: estructuras a lo largo de una zona impermeable.
- Enterrados: en cámaras subterráneas de áreas urbanas.
- Orgánicos: la segunda cámara con medio orgánico (compost)

Ventajas

- Mejoran notablemente la calidad del agua de escorrentía eliminando incluso en fósforo.
- Gestión de la calidad del agua de escorrentía reteniendo un alto número de contaminantes.

Desventajas

- Solo es viable para tratar caudales punta en áreas menores a 4 hectáreas o para lluvia de poca intensidad (periodo de retorno de dos años)
- Se deben evitar infiltraciones en caso de acuífero cercano.
- Pueden obstruirse por limos y arcillas.
- Si está cerca de la base de algún edificio debe colocarse una membrana impermeable entre ambos.
- Hay que detener su funcionamiento si hay obras cerca.

Mantenimiento

- Limpieza frecuente de los filtros.
- Con sistema de pretratamiento la limpieza de los filtros puede realizarse con menor frecuencia.

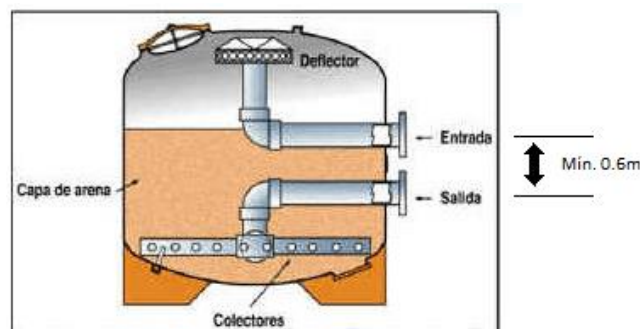


Imagen 17- Esquema de filtros de arena www.valleinferior.es

2.1.12 Humedales artificiales

Elementos con mucha vegetación emergente, poco profundos con altos niveles de Bioeliminación. También controlan el volumen de escorrentía. Hay que asegurar un flujo base para garantizar la vida de la flora y fauna presente en épocas de sequía. (Sustainable Drainage Systems (SUDS), 2005) El área de drenaje debe ser alrededor de diez hectáreas con pendiente longitudinal menor al 8%.

Deben constar de 4 zonas con calados diferenciados.

1. Zona de aguas profundas: calado entre 0.5-1.8m con vegetación sumergida y flotante.
2. Zona de baja vegetación emergente: calado ente 0.06-0.5m.
3. Zonas de alta vegetación: con calado desde los 0.06m hasta el nivel del estanque, debe acondicionarse con gran variedad de especies vegetales y con mayor extensión que en la zona baja.
4. Zona inundable: por encima del volumen permanente para épocas con gran intensidad de lluvia.

Ventajas

- Eliminación eficaz de contaminantes.
- Buena aceptabilidad por parte de la comunidad.
- Alto valor ecológico, estético y paisajístico.
- Puede adaptarse a un uso recreativo.
- Gestión de escorrentía y calidad del agua en zonas residenciales

Desventajas

- Impermeabilización del suelo en caso de tener algún acuífero cerca.
- Elevada ocupación del suelo.
- Necesidad de un flujo de base mínimo.
- Puede haber problemas de eutrofización.
- No reduce mucho el volumen de escorrentía.
- Solo viables en sitios con poca pendiente.
- Especies invasoras pueden aumentar el mantenimiento.

Mantenimiento

- Eliminación de restos y residuos.
- Limpieza de entradas y salidas del agua.
- Buen estado de la vegetación.
- Control del nivel de sedimentos.

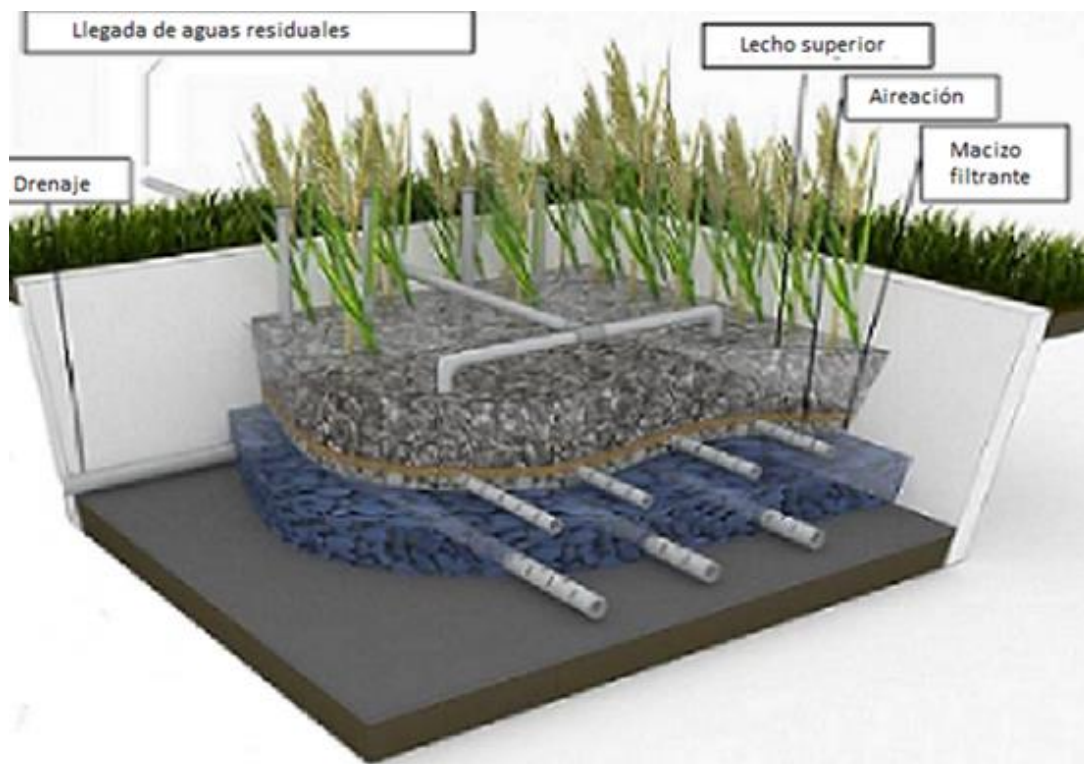


Imagen 18- Esquema humedales artificiales www.construyored.com



Imagen 19- Humedales artificiales www.sudsostenible.com

2.2 Medidas no estructurales

Las medidas no estructurales (aquellas que no requieren un proyecto de construcción) intentan prevenir y minimizar los problemas asociados al agua de lluvia, como contaminantes que llegan al agua, por lo que junto con las medidas estructurales ayudan a que la gestión del agua sea más sostenible.

Las medidas no estructurales más relevantes son la educación y la concienciación de la ciudadanía acerca de los problemas y soluciones que pueden adoptarse. Como medidas particulares destacan las siguientes: diseñar intentando que las superficies sean en la medida de lo posible permeables para disminuir el agua de escorrentía; concienciar sobre los efectos positivos si se minimiza la suciedad de las calles; limpieza de superficies impermeables para no acumular contaminantes; evitar herbicidas y fungicidas en parques y jardines o al menos minimizar su uso; evitar arrastre de sedimentos cuando hayan obras; utilizar siempre que sea posible técnicas de limpieza secas en lugar de usar agua; detectar para eliminar conexiones ilegales al sistema de drenaje; recogida y uso de las aguas de escorrentía para otros usos.

Además, en países empobrecidos con falta de recursos tanto humanos (cualificados) como económicos, intentar prevenir problemas es mucho más eficiente y barato que actuar a posteriori para corregirlos.

También es de gran ayuda la planificación urbana y las ordenanzas municipales para el control del crecimiento de las ciudades. De esta forma el aumento del tráfico o de la población en una cierta área no comprometería la eficacia de los sistemas de abastecimiento y saneamiento existentes.

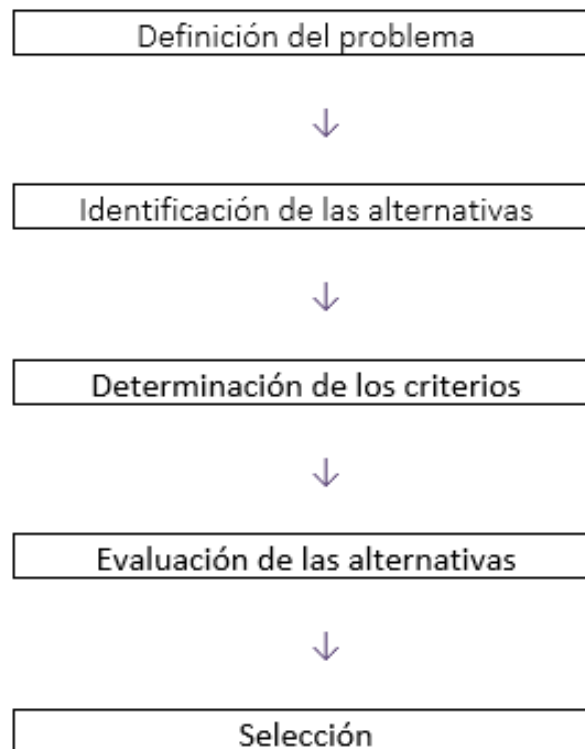
Hay que destacar finalmente que la formación en este tema no solo debe darse en la ciudadanía, sino también en planificadores municipales y proyectistas, fundamentalmente mediante charlas y conferencias periódicas.

3 Métodos de selección multicriterio

3.1 Proceso de toma de decisiones

En el proceso de toma de decisiones, la parte fundamental es la correcta definición del problema. A partir de aquí se deben plantear diferentes alternativas con las que se podría resolver dicho problema. Estas alternativas pueden ser evaluadas por criterios cuantitativos o cualitativos. Los criterios que vamos a evaluar son las características que definen a cada alternativa. Posteriormente, mediante alguno de los métodos de ponderación de criterios se le otorga un valor a cada criterio de forma que podemos considerar varios criterios sin que todos tengan la misma importancia a la hora de evaluar las alternativas. Por último, se utilizará un método de evaluación de alternativas para seleccionar la alternativa más adecuada para solventar el problema, habiendo tenido en cuenta los diferentes criterios que las componen y sus correspondientes pesos.

En el presente apartado se presentarán los principales métodos para la ponderación de los criterios que definen las alternativas, así como, diferentes métodos para la evaluación de estas.



3.2 Clasificación de los métodos multicriterio

Al inicio de la historia de la toma de decisiones era común que lo que se planteara fuese un único criterio, usualmente económico para la toma de decisiones, pero ya en el año 1955 Simón H.A. (Premio Nobel) afirmó la necesidad de plantear distintos objetivos a la vez, los cuales muchas veces son incompatibles entre sí, por lo que lo idóneo era obtener cierto grado de satisfacción en cada uno de ellos. Como consecuencia de este pensamiento nace el MCDM (Multi Criteria Decision-Making). A partir de aquí se fueron desarrollando diferentes ideas y procesos hasta que en 1961 nace el primer método de decisión multicriterio discreto desarrollado por Charnes y Cooper; el método Electre. Ya en 1980 de la mano de Saaty T. se publica el primer libro sobre Analytic Hierarchy Process (AHP) y a partir de aquí aparecen numerosos manuales y trabajos científicos sobre el análisis multicriterio.

La revolución de los ordenadores personales potencia el desarrollo de esta metodología; una publicación de 1996 (Steuer, y otros, 1996) lista 1216 publicaciones relacionadas con el método multicriterio (208 libros, 31 revistas y 143 conferencias) publicadas entre los años 1987 y 1992.

En la actualidad los métodos multicriterio para la toma de decisiones se clasifican en:

- Métodos de puntuación directa (Scoring methods)- **Copras o Saw**
Se basan en operaciones matemáticas muy sencillas
- Métodos basados en la distancia entre un punto cualquiera y cada una de las alternativas (Distance Based Methods)- **Topsis o Vikor**
Busca la alternativa más cercana al punto óptimo
- Métodos de comparación por pares (Pairwise Comparison Methods)- **AHP**
Los pesos de los criterios se obtienen por comparación uno a uno generando una matriz de comparación; especialmente útil para la obtención de opiniones subjetivas en valores numéricos.
- Métodos de superación (Outranking Methods)- **Promethee**
Se basa en la relación que hay entre las alternativas estableciendo relaciones de dominancia entre ellas.
- Métodos basados en funciones de valor o utilidad (Utility/Value Methods)-**Mives**
Establecen el grado de satisfacción de cada alternativa con cada criterio contemplado.

3.3 Ponderación de criterios

La ponderación de los diferentes criterios analizados supone una parte muy sensible del método de elección, ya que, diferentes pesos podrían inducir a diferentes resultados. Por este motivo, esta es la parte que más debe analizarse para que la alternativa seleccionada realmente sea la adecuada para alcanzar los objetivos que buscamos. (Mayor, 2016)

Existen en la actualidad diferentes metodologías para la ponderación de los diferentes criterios, de esta manera esta ponderación se vuelve algo más objetiva que subjetiva, aunque no existe un consenso sobre la metodología más adecuada. Puede resultar conveniente realizar ponderaciones con diferentes metodologías para evaluar las diferencias. En el caso de que diferentes metodologías arrojen pesos parecidos podríamos saber con mayor precisión que los pesos utilizados son razonables y arrojarán conclusiones coherentes. (Luciano Ferreira, 2016)

Los métodos de ponderación de los criterios se muestran a continuación utilizando algunos ejemplos prácticos.

3.3.1 Método de la ordenación simple

Con este método hay que ordenar los criterios de mayor a menor importancia y darles una puntuación, por lo que influye de manera directa la opinión del decisor. Es por esto por lo que se usa cuando hay poca información para utilizar otro método. (Aznar Bellver, y otros, 2012)

1º Ordenamos los criterios por importancia y se les da una puntuación

El primer criterio en importancia tendrá la mayor puntuación y el menos importante tendrá la menor puntuación.

	Orden de importancia	Puntuación
Criterio 1	3	X1
Criterio 2	1	X2
Criterio 3	2	X3

Tabla 1- Tabla ordenación y puntuación de criterios; Método de la ordenación simple

Analizando la tabla, dado que el criterio 2 tiene el orden de importancia 1, la puntuación X2 es la mayor y dado que el criterio 1 tiene el orden de importancia 3, la puntuación X1 será la menor.

Ejemplo

	Orden de importancia	Puntuación
Criterio 1	3	1
Criterio 2	1	3
Criterio 3	2	2

Tabla 2- Ejemplo tabla ordenación y puntuación de criterios; Método de la ordenación simple

2º Normalizamos la puntuación. Normalización por la suma

$$Wj \text{ ponderado} = \frac{Xj}{\sum_{j=1}^m Xj}$$

Donde m es el número de criterios.

Ejemplo

	Orden de importancia	Puntuación	Wj ponderado
Criterio 1	3	1	$\frac{1}{6} = 0,1667$
Criterio 2	1	3	$\frac{3}{6} = 0,5000$
Criterio 3	2	2	$\frac{2}{6} = 0,3333$
Suma		6	1

Tabla 3- Ejemplo pesos; Método de la ordenación simple

3.3.2 Metodología AHP

Este método de comparación por pares apareció en 1977 publicado en el Journal of Mathematical Psychology y no solo ayuda a la ponderación de los diferentes criterios contemplados en las alternativas, sino que también ayuda a valorar la consistencia de la decisión tomada para saber que el resultado es objetivo y fiable. (Julio Vidal, y otros, 2012)

Es tan popular que incluso la NASA lo utiliza para priorizar sus proyectos y el gobierno de China lo usa para elegir sus proyectos de inversión en investigación y desarrollo.

Los Análisis jerárquicos de procesos (Saaty, 2000) permiten resolver problemas complejos de decisión.

Se pretende llegar a la alternativa adecuada, analizando los criterios de una forma comparativa. Para esto se utiliza la escala AHP, la cual ha demostrado ser adecuada para determinar la intensidad de relación entre criterios.

1º Se construye una tabla cuyas columnas y filas constan de los criterios que se van a tener en cuenta.

	Criterio 1	Criterio 2	Criterio 3	Criterio j
Criterio 1	X11	X12	X13	X1j
Criterio 2	X21	X22	X23	X2j
Criterio 3	X31	X32	X33	X3j
Criterio k	Xk1	Xk2	Xk3	Xkj

Tabla 4- Tabla inicio de metodología AHP; elaboración propia

Donde X_{kj} son los valores que se darán en el siguiente paso al comparar un criterio con otro; por lo que k y j adquieren valores desde 1 hasta m , siendo m el número de criterios.

2º Se dan valores. Los valores que se dan están explicados en la siguiente tabla

Se ha comprobado de forma empírica que esta escala ha sido satisfactoria en situaciones reales muy diversas (Yepes Piqueras, 2018). Al valorar un criterio consigo mismo su valor es de 1 por lo que los valores de la diagonal adquieren valor 1, y los valores inferiores a la diagonal principal deben adquirir valores recíprocos. Es decir, si al comparar el criterio 1 con el 3 le asignamos un valor 3, cuando comparemos el criterio 3 con el 1 este tendrá un valor $1/3$.

Escala	Puntuación numérica	Puntuación recíproca
Importancia extrema	9	1/9
Importancia entre extrema y muy grande	8	1/8
Importancia muy grande	7	1/7
Importancia entre muy grande y grande	6	1/6
Importancia grande	5	1/5
Importancia entre grande y moderada	4	1/4
Importancia moderada	3	1/3
Importancia entre moderada y similar	2	1/2
Importancia similar	1	1

Tabla 5- Puntuación matriz AHP; Saaty

Ejemplo

	Criterio 1	Criterio 2	Criterio 3	Criterio 4
Criterio 1	1	3	7	2
Criterio 2	1/3	1	3	5
Criterio 3	1/7	1/3	1	3
Criterio 4	1/2	1/5	1/3	1

Tabla 6- Ejemplo puntuación matriz AHP; Elaboración propia

3º Normalizamos la tabla

Normalización por la suma

$$X_{jk} \text{ normalizado} = \frac{X_{jk}}{\sum_{k=1}^m X_{jk}}$$

Ejemplo

	Criterio 1	Criterio 2	Criterio 3	Criterio 4
Criterio 1	1	3	7	2
Criterio 2	1/3	1	3	5
Criterio 3	1/7	1/3	1	3
Criterio 4	1/2	1/5	1/3	1
SUMA	1.98	4.53	11.33	11.00

Tabla 7-Normalización por la suma, metodología AHP; elaboración propia

Tabla normalizada para obtener pesos.

	Criterio 1	Criterio 2	Criterio 3	Criterio 4
Criterio 1	0.51	0.66	0.62	0.18
Criterio 2	0.17	0.22	0.26	0.45
Criterio 3	0.07	0.07	0.09	0.27
Criterio 4	0.25	0.04	0.03	0.09

Tabla 8- Normalización por la suma, metodología AHP; elaboración propia

4º Obtenemos los pesos calculando el vector de prioridad mediante la media aritmética de cada fila de la tabla normalizada.

$$W_j = \frac{\sum_{j=1}^m X_{jk}}{m}$$

Ejemplo

$$W_1 = \frac{0.51 + 0.66 + 0.62 + 0.18}{4} = 0.49 = 49\%$$

$$W_2 = \frac{0.17 + 0.22 + 0.26 + 0.45}{4} = 0.28 = 28\%$$

$$W_3 = \frac{0.07 + 0.07 + 0.09 + 0.27}{4} = 0.13 = 13\%$$

$$W_4 = \frac{0.25 + 0.04 + 0.03 + 0.09}{4} = 0.10 = 10\%$$

5º Calculamos la consistencia de la matriz sin normalizar

La razón de consistencia debe ser menor a 0.1 para aceptar la inconsistencia de la matriz, si no, debe estudiarse otra vez los valores dados a la matriz de comparación de criterios según la escala Saaty.

La razón de consistencia se calcula como la división del índice de consistencia (IC) y el índice de consistencia aleatorio (IA)

$$RC = \frac{IC}{IA} \leq 0.1$$

$$IC = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1}$$

n	2	3	4	5	6	7	8	9	10
---	---	---	---	---	---	---	---	---	----

IA	0	0.58	0.9	1.12	1.24	1.32	1.41	1.25	1.49
----	---	------	-----	------	------	------	------	------	------

Tabla con valores medios del índice de consistencia aleatorio obtenido a partir de muestras de 500 matrices.

Donde n es el número de criterios considerados y λ_{max} es el sumatorio de los valores del vector obtenido al multiplicar la matriz de comparación de criterios sin normalizar por el vector de los pesos obtenidos.

Ejemplo

$$\begin{pmatrix} 1 & 3 & 7 & 2 \\ 1/3 & 1 & 3 & 5 \\ 1/7 & 1/3 & 1 & 3 \\ 1/2 & 1/5 & 1/3 & 1 \end{pmatrix} * \begin{pmatrix} 0.49 \\ 0.28 \\ 0.13 \\ 0.10 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 2.440 \\ 1.333 \\ 0.593 \\ 0.444 \end{pmatrix}$$

$$\lambda_{max} = 2.440 + 1.333 + 0.593 + 0.444 = 4.81$$

$$n = 4$$

$$IC = \frac{4.81 - 4}{4 - 1} = 0.27$$

$$IA = 0.9$$

$$RC = \frac{0.27}{0.9} = 0.3 \geq 0.1$$

Como la razón de consistencia es mayor a 0.1; esta asignación de pesos no es aceptable y se debe volver a estudiar la asignación de importancias relativas entre criterios ya que debe haber algún error en dicha asignación.

3.3.3 Método de la entropía

Este método fue propuesto por Zeleny en 1982 y considera que un criterio es más importante cuanto mayor es la información aportada por las alternativas respecto a dicho criterio. Para ello se mide la diversidad de un criterio mediante la entropía (Aznar Bellver, y otros, 2012).

Con este método se mide la incertidumbre de la información usando la teoría de la probabilidad y así podemos calcular de forma objetiva la asignación de pesos para los criterios sin que influyan las preferencias del decisor. Además, permite valorar criterios tanto cuantitativos como cualitativos independientemente de que lo que se busque sea maximizarlos o minimizarlos. (Estrada García, 2002)

1º Partimos directamente de la matriz de decisión con los criterios y alternativas

	Criterio 1	Criterio 2	Criterio 3	Criterio j
Alternativa 1	X11	X12	X13	X1j
Alternativa 2	X21	X22	X23	X2j
Alternativa i	Xi1	Xi2	Xi3	Xij

Tabla 9- Matriz de decisión, método de la entropía; elaboración propia.

Ejemplo

	Criterio 1	Criterio 2	Criterio 3	Criterio 4
Alternativa 1	2	3	5	1
Alternativa 2	6	1	4	4
Alternativa 3	4	3	3	2

Tabla 10- Ejemplo de matriz de decisión, método de la entropía; elaboración propia.

2º Normalizamos los datos de los valores

Normalización por la suma

$$X_{ij} \text{ normalizado} = \frac{X_{ij}}{\sum_{i=1}^n X_{ij}}$$

Ejemplo

	Criterio 1	Criterio 2	Criterio 3	Criterio 4
Alternativa 1	2	3	5	1
Alternativa 2	6	1	4	4
Alternativa 3	4	3	3	2
Suma	12	7	12	7

Tabla 11- Ejemplo normalización por la suma, método de la entropía; elaboración propia

	Criterio 1	Criterio 2	Criterio 3	Criterio 4
Alternativa 1	$\frac{2}{12} = 0.1667$	$\frac{3}{7} = 0.4286$	$\frac{5}{12} = 0.4167$	$\frac{1}{7} = 0.1429$
Alternativa 2	$\frac{6}{12} = 0.5000$	$\frac{1}{7} = 0.1429$	$\frac{4}{12} = 0.3333$	$\frac{4}{7} = 0.5714$
Alternativa 3	$\frac{4}{12} = 0.3333$	$\frac{3}{7} = 0.4286$	$\frac{3}{12} = 0.25$	$\frac{2}{7} = 0.2857$

Tabla 12- Ejemplo normalización por la suma, método de la entropía; elaboración propia

3º Calculamos la entropía de cada criterio utilizando los valores normalizados

$$E_j = -K * \sum_{i=1}^n (X_{ij} * \log X_{ij})$$

$$K = \frac{1}{\log n}$$

Donde n es el número de alternativas

Ejemplo

$$K = \frac{1}{\log 3} = 2.0959$$

$$E1 = (-2.0959) * ((0.1667 * \log 0.1667) + (0.5 * \log 0.5) + (0.3333 * \log 0.3333))$$

$$E1 = 0.9206$$

$$E2 = (-2.0959) * ((0.4286 * \log 0.4286) + (0.1429 * \log 0.1429) + (0.4286 * \log 0.4286))$$

$$E2 = 0.9141$$

$$E3 = (-2.0959) * ((0.4167 * \log 0.4167) + (0.3333 * \log 0.3333) + (0.25 * \log 0.25))$$

$$E3 = 0.9808$$

$$E4 = (-2.0959) * ((0.1429 * \log 0.1429) + (0.5714 * \log 0.5714) + (0.2857 * \log 0.2857))$$

$$E4 = 0.8699$$

4º Calculamos la diversidad de cada criterio

$$Dj = 1 - Ej$$

Ejemplo

$$D1 = 1 - E1 = 1 - 0.9206 = 0.0794$$

$$D2 = 1 - E2 = 1 - 0.9141 = 0.0859$$

$$D3 = 1 - E3 = 1 - 0.9808 = 0.0192$$

$$D4 = 1 - E4 = 1 - 0.8699 = 0.1301$$

5º Hallamos los pesos, normalizando los valores obtenidos de la diversidad. Normalización por la suma.

$$Wj = \frac{Dj}{\sum_{j=1}^m Dj}$$

Donde m es el número de criterios

Ejemplo

	Dj	Wj
Criterio 1	0.0794	$\frac{0,0794}{0,3146} = 0,2524$
Criterio 2	0.0859	$\frac{0,0859}{0,3146} = 0,2730$
Criterio 3	0.0192	$\frac{0,0192}{0,3146} = 0,0610$
Criterio 4	0.1301	$\frac{0,1301}{0,3146} = 0,4136$
suma	0.3146	1

Tabla 13- Ejemplo pesos, método de la entropía; elaboración propia

3.3.4 Método CRITIC

Conocido mundialmente como Criteria Importance Through Intercriteria Correlation (CRITIC), este método aumenta el peso de un criterio cuanto mayor sea su varianza (mayor desviación típica) y cuanto más información diferente aporte en relación con los demás criterios (menor coeficiente de correlación entre columnas) (Aznar Bellver, y otros, 2012).

Este método no requiere la comparación entre criterios, sino que directamente utiliza la matriz de decisión, la cual cuenta con la información de las alternativas con cada criterio. A partir de aquí se analiza tanto la intensidad de contraste de cada criterio, mediante la desviación estándar, así como los conflictos que puedan existir entre criterios mediante el coeficiente de correlación entre criterios. (Hashemkhani Zolfani, y otros, 2020)

1º Creamos la matriz de decisión con los criterios y alternativas

	Criterio 1	Criterio 2	Criterio 3	Criterio j
Alternativa 1	X11	X12	X13	X1j
Alternativa 2	X21	X22	X23	X2j
Alternativa i	Xi1	Xi2	Xi3	Xij

Tabla 14- Matriz de decisión, método CRITIC; elaboración propia.

2º Es necesario normalizar el rango de las magnitudes. Normalización por el rango

Criterios para maximizar ya que su impacto es positivo

$$X_{ij} \text{ normalizado} = \frac{X_{ij} - X_{\min} (\text{del criterio } j)}{X_{\max} - X_{\min} (\text{del criterio } j)}$$

Criterios para minimizar ya que su impacto es negativo

$$X_{ij} \text{ normalizado} = \frac{X_{\max} (\text{del criterio } j) - X_{ij}}{X_{\max} - X_{\min} (\text{del criterio } j)}$$

Ejemplo:

Se considera que se busca maximizar todos los criterios

	Criterio 1	Criterio 2	Criterio 3	Criterio 4
Alternativa 1	2	3	4	1
Alternativa 2	3	5	2	5
Alternativa 3	4	6	3	2
Máx.	4	6	4	5
Min	2	3	2	1
Máx.-min	2	3	2	4

Tabla 15- Ejemplo matriz de decisión, método CRITIC; elaboración propia.

Tabla normalizada

	Criterio 1	Criterio 2	Criterio 3	Criterio 4
Alternativa 1	$\frac{2-2}{2} = 0$	$\frac{3-3}{3} = 0$	$\frac{4-2}{2} = 1$	$\frac{1-1}{4} = 0$
Alternativa 2	$\frac{3-2}{2} = 0,5$	$\frac{5-3}{3} = 0,6667$	$\frac{2-2}{2} = 0$	$\frac{5-1}{4} = 1$
Alternativa 3	$\frac{4-2}{2} = 1,0$	$\frac{6-3}{3} = 1$	$\frac{3-2}{2} = 0,5$	$\frac{2-1}{4} = 0,25$

Tabla 16- Ejemplo de matriz de decisión normalizada por el rango, método CRITIC; elaboración propia.

Esta normalización no conserva la proporcionalidad

3º Calculamos la desviación estándar de cada criterio utilizando los datos normalizados

$$S_j = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_{ij} - \bar{X}_j)^2}{n-1}}$$

$$\bar{X}_j = \frac{\sum_{i=1}^n X_{ij}}{n}$$

Donde n es el número de alternativas.

Ejemplo

$$S_1 = \sqrt{\frac{(0-0,5)^2 + (0,5-0,5)^2 + (1-0,5)^2}{3-1}} = 0,5$$

$$\overline{X1} = \frac{0 + 0,5 + 1}{3} = 0,5$$

$$S2 = \sqrt{\frac{(0 - 0,5556)^2 + (0,6667 - 0,5556)^2 + (1 - 0,5556)^2}{3 - 1}} = 0,5611$$

$$\overline{X2} = \frac{0 + 0,6667 + 1}{3} = 0,5556$$

$$S3 = \sqrt{\frac{(1 - 0,5)^2 + (0 - 0,5)^2 + (0,5 - 0,5)^2}{3 - 1}} = 0,5$$

$$\overline{X3} = \frac{1 + 0 + 0,5}{3} = 0,5$$

$$S4 = \sqrt{\frac{(0 - 0,4167)^2 + (1 - 0,4167)^2 + (0,25 - 0,4167)^2}{3 - 1}} = 0,5204$$

$$\overline{X4} = \frac{0 + 1 + 0,25}{3} = 0,4167$$

3º Calculamos los coeficientes de correlación entre criterios con la tabla normalizada

Los criterios los hemos numerado hasta ahora de 1 a j, como vamos a necesitar comparar un criterio con otro proponemos otra numeración de 1 a k. Por tanto, se denominarán r_{jk} con j desde 1 a n y k desde 1 a n, donde n es el número de alternativas contempladas y m es el número de criterios contemplados.

$$r_{jk} = \frac{cov(j, k)}{S_j * S_k}$$

$$cov(j, k) = \frac{\sum_{i=1}^n (X_{ij} * X_{ik})}{m} - \overline{X_j} * \overline{X_k}$$

Donde m es igual al número de criterios

Tabla de correlación entre criterios

	Criterio 1	Criterio 2	Criterio 3	Criterio j
Criterio 1	1			
Criterio 2	r21	1		
Criterio 3	r31	r32	1	
Criterio k	rk1	rk2	rk3	rkj=1

Tabla 17- Tabla de correlación de criterios

Ejemplo

$$r_{21} = \frac{cov(2,1)}{S_2 * S_1} = \frac{0,0555375}{0,5611 * 0,5} = 0,19795937$$

$$cov(2,1) = \frac{(0 * 0) + (0,6667 * 0,5) + (1 * 1)}{4} - 0,5556 * 0,5 = 0,055537500$$

$$r_{31} = \frac{cov(3,1)}{S_3 * S_1} = \frac{-0,125}{0,5 * 0,5} = -0,50000000$$

$$cov(3,1) = \frac{(1 * 0) + (0 * 0,5) + (0,5 * 1)}{4} - 0,5 * 0,5 = -0,12500000$$

$$r_{41} = \frac{cov(4,1)}{S_4 * S_1} = \frac{-0,02085}{0,5204 * 0,5} = -0,08013067$$

$$cov(4,1) = \frac{(0 * 0) + (1 * 0,5) + (0,25 * 1)}{4} - 0,4167 * 0,5 = -0,02085000$$

$$r_{32} = \frac{cov(3,2)}{S_3 * S_2} = \frac{-0,1528}{0,5 * 0,5611} = -0,54464445$$

$$cov(3,2) = \frac{(1 * 0) + (0 * 0,6667) + (0,5 * 1)}{4} - 0,5 * 0,5556 = -0,15280000$$

$$r_{42} = \frac{cov(4,2)}{S_4 * S_2} = \frac{-0,00231852}{0,5204 * 0,5611} = -0,00794023$$

$$cov(4,2) = \frac{(0 * 0) + (1 * 0,6667) + (0,25 * 1)}{4} - 0,4167 * 0,5556 = -0,00231852$$

$$r_{43} = \frac{cov(4,3)}{S_4 * S_3} = \frac{-0,17705}{0,5204 * 0,5} = -0,68043812$$

$$cov(4,3) = \frac{(0 * 1) + (1 * 0) + (0,25 * 0,5)}{4} - 0,4167 * 0,5 = -0,17705000$$

	Criterio 1	Criterio 2	Criterio 3	Criterio 4
Criterio 1	1			
Criterio 2	0,197959	1		
Criterio 3	-0,500000	-0,544644	1	
Criterio 4	-0,080131	-0,007940	-0,680438	1

Tabla 18- Ejemplo tabla de correlación de criterios

4º Obtenemos el peso de cada criterio

$$w_j = S_j * \sum_{k=1}^m (1 - r_{kj})$$

Ejemplo

$$W1 = 0,5 * ((1 - 0,197959) + (1 + 0,5) + (1 + 0,080131)) = 1,691086$$

$$W2 = 0,5611 * ((1 - 0,197959) + (1 + 0,544644) * (1 + 0,007940)) = 1,882280$$

$$W3 = 0,5 * ((1 + 0,5) + (1 + 0,544644) + (1 + 0,680438)) = 2,362541$$

$$W4 = 0,5204 * ((1 + 0,080131) + (1 + 0,007940) + (1 + 0,680438)) = 1,961132$$

5º Normalizamos los pesos

Normalización por la suma

$$W_j \text{ ponderada} = \frac{W_j}{\sum_{j=1}^m W_j}$$

Ejemplo

	W (Peso)	W (Peso normalizado)
Criterio 1	1,691086	0,2141
Criterio 2	1,882280	0,2384
Criterio3	2,362541	0,2992
Criterio 4	1,961132	0,2483
Suma	7,897039	1

Tabla 19- Ejemplo pesos normalizados; método CRITIC

3.4 Métodos para elegir alternativas

3.4.1 Matriz de decisión de Pugh (Pugh's Design matrix)

Este método fue creado por el británico Stuart Pugh en 1990 y es una herramienta cuantitativa mediante la cual se crea una matriz de decisión, la cual relaciona todos los criterios definidos con todas las posibles alternativas contempladas.

Su creador fue el británico Stuart Pugh, un reconocido ingeniero de diseño responsable de acuñar el concepto de diseño total, y mediante la matriz de Pugh se pueden evaluar opciones entre sí mediante un arreglo multidimensional (matriz de decisiones) (Pugh, 1991)

1º Se genera la matriz de decisiones

	Peso	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	...
Criterio1					
Criterio 2					
Criterio 3					
...					
SUMA DE POSITIVOS					
SUMA DE NEGATIVOS					
SUMA TOTAL					

Tabla 20- Matriz de decisión de Pugh; elaboración propia

2º Se evalúan los criterios individualmente en cada alternativa.

Si la alternativa actúa a favor del criterio se le otorga un +1, si actúa en contra un -1 y si no influye se le otorga 0. Estos valores se multiplican por los pesos elegidos en el apartado 'Criterios de ponderación' y se suman al final de las columnas.

Otra variante de este método sería puntuar los criterios en cada alternativa de 0 al 10, en lugar de con valores +1,-1 y 0; multiplicar por su peso y sumar columnas. Este es el método que se utiliza en una de las referencias para la elección del proveedor de cierto medicamento (Miguel, 2010).

Ejemplo

	Peso	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Criterio1	0,2631	+1	+1	0
Criterio 2	0,4532	+1	0	+1
Criterio 3	0,2837	0	-1	+1
SUMA DE POSITIVOS		0,7163	0,2631	0,7369
SUMA DE NEGATIVOS		0	-0,2837	0
SUMA TOTAL		0,7163	-0,0206	0,7369

Tabla 21- Ejemplo de matriz de decisión Pugh; elaboración propia

La mejor alternativa sería la alternativa 3 y la peor sería la alternativa 2

3.4.2 Metodología TOPSIS

Esta metodología cuyas siglas significan “Técnica de ordenamiento de preferencia por similitud al ideal positivo” (Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution - TOPSIS) mide la distancia de cada alternativa a la solución ideal PIS (Positive Ideal Solution) y a la posición más desfavorable NIS (Negative Ideal Solution). La alternativa elegida será la que tenga menor distancia al PIS y mayor distancia al NIS. (Hwang, 1992)

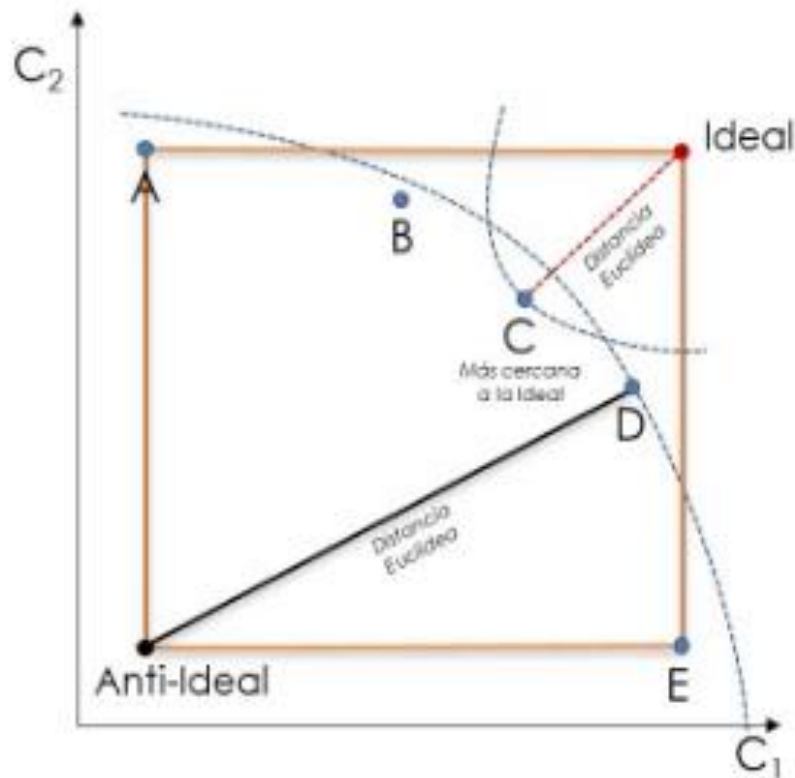


Imagen20- Croquis de metodología TOPSIS

En la imagen se muestran 5 alternativas nombradas A, B, C, D y E, la posición ideal positiva (PIS) que es el punto rojo nombrado “ideal” y la posición ideal negativa (NIS) que corresponde al punto negro nombrado como “anti-ideal”; En este caso la alternativa más cercana al PIS es la alternativa C y la más alejada al NIS es la alternativa D.

1º Hay que formar la matriz de decisión con los pesos (W) de cada criterio

Pesos	WC1	WC2	WC3	WCj
	Criterio 1	Criterio 2	Criterio 3	Criterio j
Alternativa 1	X11	X12	X13	X1j
Alternativa 2	X21	X22	X23	X2j
Alternativa 3	X31	X32	X33	X3j
Alternativa 4	X41	X42	X43	X4j
Alternativa i	Xi1	Xi2	Xi3	Xij

Tabla 22- Matriz de decisión para metodología Topsis; elaboración propia

Esta tabla se rellena con la valoración de cada alternativa bajo cada criterio

Ejemplo

Pesos	0.1211	0.2323	0.4015	0.2451
	Criterio 1	Criterio 2	Criterio 3	Criterio 4
Alternativa 1	2	3	3	6
Alternativa 2	5	2	4	2
Alternativa 3	1	2	5	4

Tabla 23- Ejemplo matriz de decisión para metodología Topsis; elaboración propia

2º Normalizar la matriz. Normalización vectorial

$$n_{ij} = \frac{X_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (X_{ij})^2}}$$

Donde X_{ij} son los elementos que forman la matriz y n es el número de alternativas

Ejemplo

Pesos	0,1211	0,2323	0,4015	0,2451
	Criterio 1	Criterio 2	Criterio 3	Criterio 4
Alternativa 1	2	3	3	6
Alternativa 2	5	2	4	2
Alternativa 3	1	2	5	4
$\sqrt{\sum_{i=1}^n (X_{ij})^2}$	5,4772	4,1231	7,0711	7,4833

Tabla 24- Ejemplo matriz de decisión para metodología Topsis; elaboración propia

Pesos	0,1211	0,2323	0,4015	0,2451
	Criterio 1	Criterio 2	Criterio 3	Criterio 4
Alternativa 1	0,3652	0,7276	0,4243	0,8018
Alternativa 2	0,9129	0,4851	0,5657	0,2673
Alternativa 3	0,1826	0,4851	0,7071	0,5345

Tabla 25- Ejemplo matriz normalizada para metodología Topsis; elaboración propia

3º Se multiplica la nueva matriz ya normalizada por su correspondiente peso

Ejemplo

Pesos	0,1211	0,2323	0,4015	0,2451
	Criterio 1	Criterio 2	Criterio 3	Criterio 4
Alternativa 1	0,0442	0,1690	0,1704	0,1965
Alternativa 2	0,1106	0,1127	0,2271	0,0655
Alternativa 3	0,0221	0,1127	0,2839	0,1310

Tabla 26- Ejemplo matriz ponderada para metodología Topsis; elaboración propia

4º Cálculo de la posición ideal positiva (PIS) y negativa (NIS) para cada criterio.

La posición ideal positiva PIS será el valor mayor y la posición ideal negativa será el valor menor cuando lo ideal sea maximizar ese criterio. De la misma manera cuando lo ideal sea minimizar ese criterio, como es en el caso de costes, la posición ideal positiva PIS será el valor menor y la posición ideal negativa será el valor mayor.

Ejemplo

En este ejemplo se considera que lo ideal es maximizar los criterios.

Pesos	0,1211	0,2323	0,4015	0,2451
	Criterio 1	Criterio 2	Criterio 3	Criterio 4
Alternativa 1	0,0442	0,1690	0,1704	0,1965
Alternativa 2	0,1106	0,1127	0,2271	0,0655
Alternativa 3	0,0221	0,1127	0,2839	0,1310
PIS	0,1106	0,1690	0,2839	0,1965
NIS	0,0221	0,1127	0,1704	0,0655

Tabla 27- Ejemplo PIS y NIS para metodología Topsis; elaboración propia

5º Cálculo de las distancias euclídeas al PIS y al NIS con matriz normalizada

$$dist. PIS = \sqrt{\sum_{j=1}^m (X_{ij} - PIS_j)^2} \quad dist. NIS = \sqrt{\sum_{j=1}^m (X_{ij} - NIS_j)^2}$$

Donde m es el número de criterios.

Ejemplo

Pesos	0,1211	0,2323	0,4015	0,2451		
	Criterio 1	Criterio 2	Criterio 3	Criterio 4	Dist. PIS	Dist. NIS
Alternativa 1	0,0442	0,1690	0,1704	0,1965	0,1315	0,1443
Alternativa 2	0,1106	0,1127	0,2271	0,0655	0,2195	0,1051
Alternativa 3	0,0221	0,1127	0,2839	0,1310	0,1237	0,1310
PIS	0,1106	0,1690	0,2839	0,1965		
NIS	0,0221	0,1127	0,1704	0,0655		

Tabla 28- Ejemplo distancia al PIS y NIS para metodología Topsis; elaboración propia

6º Calculamos la proximidad relativa a la solución ideal

$$R_i = \frac{Dist NIS_i}{Dist PIS_i + Dist NIS_i}$$

La mejor alternativa será la que más se aproxime a R=1

Ejemplo

$$R1 = \frac{0,1443}{0,1315 + 0,1443} = 0,5232$$

$$R2 = \frac{0,1051}{0,2195 + 0,1051} = 0,3238$$

$$R3 = \frac{0,1310}{0,1237 + 0,1310} = 0,5143$$

En este ejemplo, aunque la diferencia entre la alternativa 1 y la alternativa 3 es muy pequeña, la alternativa más favorable sería la alternativa 1 y queda muy claro que la menos favorable es la alternativa 2.

3.4.3 Metodología SAW

Conocido como Simple Additive Weighting o método de la suma ponderada, SAW es un método de puntuación directa y se basa en evaluar las alternativas realizando el sumatorio del valor normalizado de cada criterio por su peso. Este es el método más antiguo y funciona muy bien cuando se requiere maximizar un criterio. (Hwang, y otros, 1981).

Se crea la matriz de alternativas y criterios y utilizando el valor óptimo de cada criterio se normaliza la tabla, posteriormente para hallar la puntuación final que servirá para elegir las alternativas sumando los valores de las columnas “criterios” de la tabla normalizada multiplicados por los pesos de cada criterio.

1º Obtenemos el valor óptimo de cada criterio

Si lo que se busca es maximizar el criterio, como podría ser en caso de disponibilidad de medios o generación de beneficios, el valor óptimo será el mayor entre todas las alternativas correspondiente a dicho criterio. De la misma manera, si lo que se busca es minimizar dicho criterio, como podría ser el caso de costes o parámetros relacionados con la contaminación, el valor óptimo es el mínimo entre todas las alternativas para dicho criterio.

	Criterio 1	Criterio 2	Criterio 3	Criterio 4	Criterio j
Alternativa 1					
Alternativa 2					
Alternativa 3					
Alternativa 4					
Alternativa 5					
Alternativa j					
Valor óptimo					

Tabla 29- Matriz decisión metodología SAW; elaboración propia

Ejemplo

El criterio 1 se corresponde al costo por lo que se intentará minimizar este criterio. El resto de los criterios se intentarán maximizar

	Criterio 1	Criterio 2	Criterio 3	Criterio 4
Alternativa 1	2	2	4	1
Alternativa 2	1	3	5	3
Alternativa 3	4	6	1	5
Pesos	0,2315	0,3131	0,1562	0,2992
Valor óptimo	1	6	5	5

Tabla 30- Ejemplo valor óptimo metodología SAW; elaboración propia

2º Normalizamos la tabla

Criterios que queremos maximizar (criterios beneficiosos)

$$X_{ij} \text{ normalizado} = \frac{X_{ij}}{\text{Valor óptimo de criterio } j}$$

Criterios que queremos minimizar (criterios perjudiciales)

$$X_{ij} \text{ normalizado} = \frac{\text{Valor óptimo de criterio } j}{X_{ij}}$$

Ejemplo

	Criterio 1	Criterio 2	Criterio 3	Criterio 4
Alternativa 1	0,5000	0,3333	0,8000	0,2000
Alternativa 2	1,0000	0,5000	1,0000	0,6000
Alternativa 3	0,2500	1,0000	0,2000	1,0000
Pesos	0,2315	0,3131	0,1562	0,2992
Valor óptimo	1	6	5	5

Tabla 31- Normalización metodología SAW; elaboración propia

3º Puntuación final

$$S_j = \sum_{j=1}^m X_{ij} * W_j$$

Donde m es el número de criterios

Ejemplo

$$S_1 = (0,2315 * 0,5) + (0,3131 * 0,3333) + (0,1562 * 0,8) + (0,2992 * 0,2)$$

$$S_1 = 0,4049$$

$$S_2 = (0,2315 * 1) + (0,3131 * 0,5) + (0,1562 * 1) + (0,2992 * 0,6)$$

$$S2 = 0,7238$$

$$S3 = (0,2315 * 0,25) + (0,3131 * 1) + (0,2 * 0,1562) + (0,2992 * 1)$$

$$S3 = 0,7014$$

La alternativa óptima es la alternativa 2 y la peor es la alternativa 1

3.4.4 Método WASPAS

El WASPAS (Weight Aggregated Sum Product Assessment) es uno de los métodos de selección de alternativas más utilizados cuando se contemplan múltiples criterios (Kazimieras Zavadskas, y otros, 2012)

1º Obtenemos el valor óptimo de cada criterio

Al igual que en el método anterior, si lo que se busca es maximizar el criterio, como podría ser en caso de disponibilidad de medios o generación de beneficios, el valor óptimo será el mayor entre todas las alternativas correspondiente a dicho criterio; de la misma manera si lo que se busca es minimizar dicho criterio, como podría ser el caso de costes o parámetros relacionados con la contaminación, el valor óptimo es el mínimo entre todas las alternativas para dicho criterio.

	Criterio 1	Criterio 2	Criterio 3	Criterio 4	Criterio j
Alternativa 1					
Alternativa 2					
Alternativa 3					
Alternativa 4					
Alternativa 5					
Alternativa j					
Valor óptimo					

Tabla 32- Matriz decisión metodología WASPAS; elaboración propia

Ejemplo

El criterio 1 se corresponde al costo por lo que se intentará minimizar este criterio. El resto de los criterios se intentarán maximizar

	Criterio 1	Criterio 2	Criterio 3	Criterio 4
Alternativa 1	2	2	4	1
Alternativa 2	1	3	5	3
Alternativa 3	4	6	1	5
Pesos	0.2315	0.3131	0.1562	0.2992
Valor óptimo	1	6	5	5

Tabla 33- Ejemplo valor óptimo metodología WASPAS; elaboración propia

2º Normalizamos la tabla

Criterios que queremos maximizar (criterios beneficiosos)

$$X_{ij} \text{ normalizado} = \frac{X_{ij}}{\text{Valor óptimo de criterio } j}$$

Criterios que queremos minimizar (criterios perjudiciales)

$$X_{ij} \text{ normalizado} = \frac{\text{Valor óptimo de criterio } j}{X_{ij}}$$

Ejemplo

	Criterio 1	Criterio 2	Criterio 3	Criterio 4
Alternativa 1	0,5000	0,3333	0,8000	0,2000
Alternativa 2	1,0000	0,5000	1,0000	0,6000
Alternativa 3	0,2500	1,0000	0,2000	1,0000
Pesos	0,2315	0,3131	0,1562	0,2992
Valor óptimo	1	6	5	5

Tabla 34- Normalización metodología WASPAS; elaboración propia

3º Puntuación final

$$S_j = \lambda * Q1 + (1 - \lambda) * Q2$$

$$Q1 = \sum_{j=1}^m X_{ij} * W_j$$

$$Q2 = \prod_{j=1}^m X_{ij}^{W_j}$$

$$S_j = \lambda * \sum_{j=1}^m X_{ij} * W_j + (1 - \lambda) * \prod_{j=1}^m X_{ij}^{W_j}$$

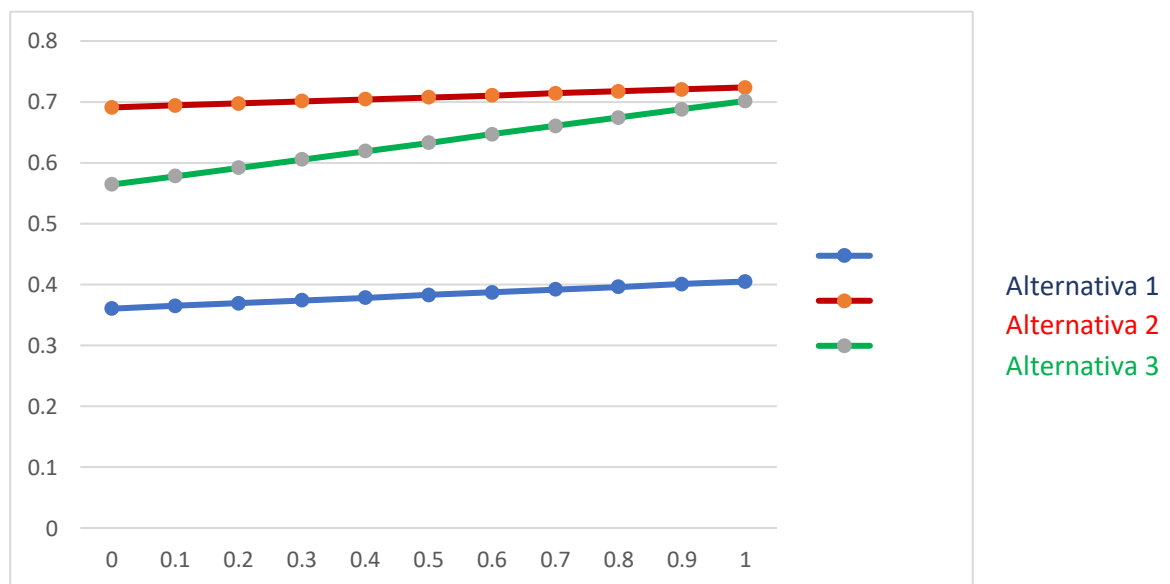
Donde m es el número de criterios y λ toma valores de 0 a 1

Ejemplo

	Criterio 1	Criterio 2	Criterio 3	Criterio 4	Q1	Q2
Alternativa 1	0,5	0,3333	0,8	0,2	0,40490623	0,36028163
Alternativa 2	1	0,5	1	0,6	0,72377	0,69082869
Alternativa 3	0,25	1	0,2	1	0,701415	0,56421418
Pesos	0,2315	0,3131	0,1562	0,2992		

λ	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
A1	0,360	0,365	0,369	0,374	0,378	0,383	0,387	0,392	0,396	0,400	0,405
A2	0,691	0,694	0,697	0,701	0,704	0,707	0,711	0,714	0,717	0,721	0,724
A3	0,564	0,578	0,592	0,605	0,619	0,633	0,647	0,660	0,674	0,688	0,701

Representando los distintos valores de las alternativas dependiendo del λ utilizado observamos que para todos los λ la mejor alternativa es la alternativa 2 y la peor es la alternativa 1.



3.4.5 Método VIKOR

Las siglas de este método, que vienen del Serbio, significan “Optimización multicriterio y solución de compromiso”. Fue desarrollado en 1998 por Serafín Opricovic y determina el ranking de alternativas definidas con criterios en conflicto, es decir, con distintas unidades o, en el caso de que existan criterios cualitativos y cuantitativos, basándose en la cercanía a la solución ideal y a la lejanía de la solución pésima. A esto se refiere como solución de compromiso, al igual que la metodología TOPSIS. (Opricovic, y otros, 2004)

1º Hay que conformar la matriz de decisión con los pesos (W) de cada criterio.

Pesos	WC1	WC2	WC3	WCj
	Criterio 1	Criterio 2	Criterio 3	Criterio j
Alternativa 1	X11	X12	X13	X1j
Alternativa 2	X21	X22	X23	X2j
Alternativa 3	X31	X32	X33	X3j
Alternativa 4	X41	X42	X43	X4j
Alternativa i	Xi1	Xi2	Xi3	Xij

Tabla 35- Matriz de decisión para metodología Vikor; elaboración propia

Esta tabla se rellena con la valoración de cada alternativa bajo cada criterio.

Ejemplo

Pesos	0.1211	0.2323	0.4015	0.2451
	Criterio 1	Criterio 2	Criterio 3	Criterio 4
Alternativa 1	2	3	3	6
Alternativa 2	5	2	4	2
Alternativa 3	1	2	5	4
PIS	5	3	5	6
NIS	1	2	3	2

Tabla 36- Ejemplo matriz de decisión para metodología Vikor; elaboración propia

2º Normalizamos la matriz.

$$X_{ij} \text{ normalizada} = \frac{PISj - X_{ij}}{PISj - NISj}$$

De acuerdo con el ejemplo la matriz normalizada que como sigue:

Pesos	0,1211	0,2323	0,4015	0,2451
	Criterio 1	Criterio 2	Criterio 3	Criterio 4
Alternativa 1	0,75	0	1,00	0
Alternativa 2	0	1,00	0,50	1,00
Alternativa 3	1,00	1,00	0	0,50
PIS	5	3	5	6
NIS	1	2	3	2

Tabla 37- Normalización método VIKOR; elaboración propia

3º Hallamos las distancias de cada alternativa con la matriz normalizada.

$$S_j = \sum_{i=1}^m X_{ij} * W_i$$

$$R_j = \max(W_i * R_{ij})$$

Para el ejemplo seguido, las distancias son las siguientes:

Pesos	0,1211	0,2323	0,4015	0,2451		
	Criterio 1	Criterio 2	Criterio 3	Criterio 4	Sj	Rij
Alternativa 1	0,75	0	1,00	0	0,4923	0,4015
Alternativa 2	0	1,00	0,50	1,00	0,6782	0,2451
Alternativa 3	1,00	1,00	0	0,50	0,4760	0,2323

Tabla 38- Distancias con matriz normalizada, método VIKOR; elaboración propia

4º Hallamos la distancia relativa.

$$Q_j = v * \frac{S_j - \check{S}}{\bar{S} - \check{S}} + (1 - v) * \frac{R_j - \check{R}}{\bar{R} - \check{R}}$$

Donde V representa la posición frente al riesgo y toma un valor entre 0 y 1. Una posición neutra frente al riesgo sería V=0,5.

$$\check{S} = \min(S_j)$$

$$\bar{S} = \max(S_j)$$

Para el ejemplo actual, Q1, Q2 y Q3 se calculan de la siguiente manera:

$$Q_1 = 0,5 * \frac{0,4923 - 0,4760}{0,6782 - 0,4760} + 0,5 * \frac{0,4015 - 0,2323}{0,4015 - 0,2323} = 0,5403$$

$$Q2 = 0,5 * \frac{0,6782 - 0,4760}{0,6782 - 0,4760} + 0,5 * \frac{0,2451 - 0,2323}{0,4015 - 0,2323} = 0,5378$$

$$Q3 = 0,5 * \frac{0,4760 - 0,4760}{0,6782 - 0,4760} + 0,5 * \frac{0,2323 - 0,2323}{0,4015 - 0,2323} = 0$$

5º Seleccionamos la mejor alternativa.

Ordenamos en orden decreciente según Q, S y R, y la mejor alternativa será la que tiene menor Q si se cumple:

1)

$$Q(2^{\circ}) - Q(1^{\circ}) = DQ$$

$$DQ \geq \frac{1}{J-1}$$

Donde J es el número de alternativas.

2) La mejor alternativa según Q debe serlo también según R y S.

En el ejemplo seguido la cosa queda como se muestra a continuación:

Q	S	R
Q1=0,5403	S2=0,6782	R1=0,4015
Q2=0,5378	S1=0,4923	R2=0,2451
Q3=0	S3=0,4760	R3=0,2323

La mejor alternativa según Q sería la alternativa 3. Comprobamos si también cumple las dos condiciones.

1)

$$0,5878 - 0 \geq \frac{1}{3-1}$$

$$0,5878 \geq 0,5$$

2) La alternativa 3 también resulta ser la mejor en la clasificación según S y R, por lo tanto, la alternativa óptima será la alternativa 3.

4 Selección de SUDS en países empobrecidos

En este estudio se analizará todo el catálogo de SUDS para determinar cuáles son los más adecuados para emplear en países empobrecidos.

Se va a utilizar el método AHP (Analytic Hierarchy Process) para la ponderación de los criterios. Este método se eligió ya que se trata de un estudio de carácter general sobre países empobrecidos, por lo que no se dispone de información concreta para evaluarlos y el método AHP permite hacer una valoración cualitativa empleando la comparación por pares. Se van a solicitar a expertos en sistemas de drenaje urbano sostenible (profesores universitarios de Europa y América de distintas áreas de conocimiento con publicaciones en la temática) que rellenen una encuesta diseñada para comparar los criterios entre sí mediante la comparación por pares, utilizando la escala Saaty. Cada encuesta se analizará por separado y posteriormente se agruparán los resultados para obtener unos pesos de criterios definitivos. Estos se utilizarán para evaluar el catálogo de SUDS.

Para la segunda fase de selección de técnicas concretas se opta por el método SAW (Simple Additive Weighting) para evaluar de forma individual utilizando los datos cualitativos disponibles en el manual SUDS. (Wood-Ballard, y otros, 2007). Este análisis aportará los sistemas de drenaje sostenible más adecuados para países empobrecidos ordenados de mejor a peor. Los SUDS que resulten más adecuados serán los que se utilicen para elaborar las alternativas del caso de estudio concreto, localizado de la ciudad de Córdoba, situada en el estado de Veracruz en México.

4.1 Definición de criterios

Como se explica en la introducción, dentro del apartado condicionantes generales de países empobrecidos se han tenido cuenta las características de estos y el Manual de SUDS como principal referencia para considerar los siguientes criterios: la disminución del agua de escorrentía, la reducción de contaminantes, el coste de construcción, el coste de mantenimiento, la aceptación comunitaria y la creación potencial de hábitat. (Wood-Ballard, y otros, 2007)

Criterio 1 - Disminución del agua de escorrentía.

Los países empobrecidos generalmente disponen de un sistema de drenaje insuficiente debido al coste de construcción y mantenimiento, y muchas veces debido también a la corrupción existente en estos países. Todo ello hace que las zonas que constan de grandes precipitaciones sean propensas de sufrir inundaciones. Este criterio considera la disminución de la escorrentía para minimizar el agua que llega a los sistemas de drenaje que son incapaces de gestionar el agua caída durante grandes precipitaciones.

Criterio 2 - Reducción de los contaminantes.

Muchos de los SUDS no solo reducen el volumen del agua de escorrentía, sino que son capaces de reducir la contaminación del agua. Así se mejora la calidad del agua que llega a los sistemas de drenaje y saneamiento disminuyendo el trabajo a realizar en las plantas de depuración o permite el uso de esta agua para otros fines como puede ser el riego.

Criterio 3 - Coste de construcción.

Los países empobrecidos generalmente tienen dificultades para invertir lo necesario en la mejora de la infraestructura de la ciudad. Es por esto por lo que este criterio es una de los más importantes, ya que, por mucho que los SUDS supongan mejoras considerables en todos los demás criterios, si el coste es elevado este tipo de países no van a ser capaces de implementar estos sistemas de drenaje.

Criterio 4 - Coste de mantenimiento.

Este criterio, al igual que el coste de construcción, es prioritario a la hora de evaluar los posibles SUDS a implementar, ya que por mucho que se mejoren los demás criterios si el coste de construcción es asumible pero no lo es su mantenimiento, a largo plazo estos SUDS dejarán de funcionar adecuadamente y el coste de construcción finalmente habrá sido asumido en vano. En otro tipo de países con mayor renta per cápita, aunque los costes de construcción y mantenimiento siempre son importantes y se intenta alcanzar ciertas mejoras con la menor inversión posible, estos costes no son tan determinantes pues se puede decidir incrementar el gasto con la justificación los criterios ambientales o sociales; algo que un país empobrecido aún no puede permitirse.

Criterio 5 - Aceptación comunitaria.

Algunos sistemas de drenaje urbano sostenible aportan valor paisajístico a la zona, lo cual genera una mayor aceptación en la sociedad. Para aumentar esta aceptación es necesario educar a la comunidad en cuanto a los beneficios indirectos que estos sistemas generan: desde la reducción del agua de escorrentía y, por ende, de las inundaciones, a la disminución de la contaminación del agua que llega al sistema de saneamiento, pasando por la posible colección de dicha agua para darle otros usos.

Como se ha comentado anteriormente, en los países empobrecidos la educación juega un papel muy importante ya que no solo poseen sistemas de drenaje insuficientes para gestionar el agua de lluvia, sino que sus habitantes también ayudan al aumento del agua de escorrentía, muchas veces inconscientemente, por ejemplo, por la basura vertida indiferentemente en algún lugar y que acaba taponando el sistema de alcantarillado.

Criterio 6 - Potencial creación de hábitat.

Algunos SUDS incluyen zonas verdes, las cuales deben diseñarse adecuadamente con vegetación propia de la zona para evitar plantas invasoras. Otros como los estanques de retención contemplan el almacenamiento de agua de forma que pueda existir vida acuática en ellos e incluso existen sistemas de drenaje sostenible cuya única misión es permitir una mayor infiltración del agua lo que supone un beneficio para la vegetación de los alrededores ya que mantienen la tierra húmeda. Un factor para medir el potencial de creación de hábitat en el caso de estudio será la disminución de CO₂, ya que se tiene en cuenta que las zonas con mayor diversidad biológica (hábitats ricos en vegetación) actúan como sumideros de CO₂.

Estos criterios tienen en cuenta características económicas (coste de ejecución y mantenimiento), sociales (aceptación comunitaria) y ambientales (reducción de contaminantes, creación potencial de hábitat), por lo que se asegura que la solución obtenida será también la mejor solución desde el punto de vista de los tres pilares fundamentales de la sostenibilidad.

4.2 Ponderación de los criterios

Tal y como se dijo en el apartado anterior, la ponderación de los diferentes criterios se realizará mediante la técnica AHP (Analytic Hierarchy Process). Utilizando la escala Saaty (Saaty, 2000) se rellena la tabla de correlación entre criterios.

Escala	Puntuación numérica	Puntuación recíproca
Importancia extrema	9	1/9
Importancia entre extrema y muy grande	8	1/8
Importancia muy grande	7	1/7
Importancia entre muy grande y grande	6	1/6
Importancia grande	5	1/5
Importancia entre grande y moderada	4	1/4
Importancia moderada	3	1/3
Importancia entre moderada y similar	2	1/2
Importancia similar	1	1

Tabla 39- Escala Saaty (Saaty, 2000)

Para conseguir una ponderación de criterios precisa para el estudio de los SUDS más apropiados para implementar en países empobrecidos se ha llevado a cabo la consulta a expertos en la materia mediante una encuesta en la que estiman la importancia de un criterio respecto a otro.

Se ha consultado a 11 expertos en sistemas de drenaje urbano sostenible. En cada encuesta los expertos dan una puntuación según la escala Saaty al comparar todos los criterios entre sí.

Los criterios que se van a comparar son los siguientes:

- Criterio 1- Disminución del agua de escorrentía
- Criterio 2- Reducción de contaminantes
- Criterio 3- Coste de construcción
- Criterio 4- Coste de mantenimiento
- Criterio 5- Aceptación comunitaria
- Criterio 6- Potencial creación de hábitat

Se analiza la consistencia de cada encuesta y finalmente se utilizan únicamente las que resultan consistentes o con una mínima inconsistencia. Dado que son muchos los criterios que se comparan entre sí y la dificultad de no cometer inconsistencia, en este estudio se va a admitir la encuesta para su análisis y obtención de pesos siempre que la razón de consistencia sea menor a 0,12.

Mediante el método AHP se obtienen los siguientes pesos, los cuales se utilizarán en el apartado 4.3 “Selección de SUDS” para elegir los mejores SUDS para emplear en países empobrecidos.

De las encuestas recibidas, las que tienen una inconsistencia aceptable son las encuestas 2, 3, 6, 9 y 11, por lo que los pesos obtenidos en estas encuestas serán los utilizados para calcular los pesos que se van a aplicar a cada uno de los criterios a la hora de evaluar las alternativas.

	Criterio 1	Criterio 2	Criterio 3	Criterio 4	Criterio 5	Criterio 6
Encuesta 2	36,23	20,60	9,61	7,05	7,83	18,68
Encuesta 3	13,85	5,34	17,31	16,17	44,33	3,00
Encuesta 6	22,31	39,37	6,42	6,42	3,17	22,31
Encuesta 9	26,42	7,46	29,93	20,78	11,27	4,14
Encuesta 11	8,97	8,97	25,58	42,16	4,91	9,41
Suma	107,78	81,74	88,85	92,58	71,51	57,54
Media	21,556	16,348	17,770	18,516	14,302	11,508

Tabla 40-Matriz de pesos del caso particular. Elaboración propia

	PESOS(W)	PESOS (%)
Criterio 1- Disminución del agua de escorrentía	0,21556	21,6
Criterio 2- Reducción de contaminantes	0,16348	16,3
Criterio 3- Coste de ejecución	0,17770	17,8
Criterio 4- Coste de mantenimiento	0,18516	18,5
Criterio 5- Aceptación comunitaria	0,14302	14,3
Criterio 6- Potencial creación de hábitat	0,11508	11,5
TOTAL		100

Tabla 41- Pesos finales del caso particular. Elaboración propia

Las encuestas y los cálculos utilizando el método AHP se encuentran en el ANEXO 1

4.3 Selección de SUDS

Para la selección de SUDS y la asignación de valores a todas las alternativas respecto a cada criterio, se tomarán como referencia los datos del manual “The SUDS manual” (Wood-Ballard, y otros, 2007). Estos datos son cualitativos debido a la imposibilidad de hacer un estudio más concreto por razones como que se necesitaría tener dimensionado cada sistema de drenaje sostenible y que algunos criterios, como los costes, dependen no solo del sistema de drenaje utilizado sino también de los medios materiales y humanos del lugar en el que se implementen.

Se emplearán distintos métodos para confirmar la viabilidad de este estudio ya que esta selección de SUDS resultará determinante para la elaboración de las alternativas del caso de estudio de la ciudad de Córdoba, Veracruz en México. La alternativa finalmente elegida estará por lo tanto directamente ligada a este estudio.

Los métodos elegidos para la selección de los SUDS que se emplearán en la elaboración de las alternativas del caso de estudio son:

- **SAW** (Simple Additive Weighting o método de la suma ponderada).
- **WASPAS** (Weighted Aggregated Sum Product Assessment).
- **TOPSIS** (Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution).

Los pesos de los criterios son los obtenidos con el método AHP realizado a partir de las encuestas realizadas a expertos

A partir de la Tabla 37 tomada del SUDS Manual (Wood-Ballard, y otros, 2007), se forma la matriz de decisión (Tabla 38) con los pesos calculados anteriormente. Como esta valoración es un estudio general para obtener los sistemas de drenaje urbano sostenible más adecuados para emplear en países empobrecidos se asignará a los valores altos un 3, a los medios un 2, a los bajos un 1.

	Criterio 1	Criterio 2	Criterio 3	Criterio 4	Criterio 5	Criterio 6
Pavimento permeable	ALTO	ALTO	MEDIO	MEDIO	MEDIO	BAJO
Cubierta verde	ALTO	ALTO	ALTO	ALTO	ALTO	ALTO
Depósitos infiltración	ALTO	ALTO	BAJO	MEDIO	ALTO	MEDIO
Zanja de infiltración	ALTO	ALTO	BAJO	BAJO	MEDIO	BAJO
Pozo de infiltración	ALTO	ALTO	MEDIO	BAJO	MEDIO	BAJO
Cunetas verdes	ALTO	MEDIO	BAJO	ALTO	MEDIO	BAJO
Drenes filtrantes	ALTO	ALTO	ALTO	MEDIO	MEDIO	BAJO
Franjas filtrantes	BAJO	ALTO	MEDIO	MEDIO	MEDIO	BAJO
Depósitos superficiales de detención	BAJO	MEDIO	MEDIO	MEDIO	ALTO	ALTO
Estanques de retención	BAJO	ALTO	MEDIO	MEDIO	ALTO	ALTO
Áreas de biorretención	MEDIO	ALTO	MEDIO	MEDIO	ALTO	MEDIO
Filtros de arena	BAJO	ALTO	ALTO	MEDIO	BAJO	BAJO
Humedales artificiales	BAJO	ALTO	ALTO	ALTO	ALTO	ALTO

Tabla 42- SUDS manual

Pesos	0,216	0,163	0,178	0,185	0,143	0,115
	Criterio 1	Criterio 2	Criterio 3	Criterio 4	Criterio 5	Criterio 6
Pavimento permeable	3	3	2	2	2	1
Cubierta verde	3	3	3	3	3	3
Depósitos infiltración	3	3	1	2	3	2
Zanja de infiltración	3	3	1	1	2	1
Pozo de infiltración	3	3	2	1	2	1
Cunetas verdes	3	2	1	3	2	1
Drenes filtrantes	3	3	3	2	2	1
Franjas filtrantes	1	3	2	2	2	1
Depósitos superficiales de detención	1	2	2	2	3	3
Estanques de retención	1	3	2	2	3	3
Áreas de biorretención	2	3	2	2	3	2
Filtros de arena	1	3	3	2	1	1
Humedales artificiales	1	3	3	3	3	3

Tabla 43- Elaboración propia

4.3.1 Método TOPSIS

En el anexo 2 encontramos los cálculos de este método. Con ellos hemos obtenido los SUDS más convenientes de emplear en países empobrecidos, aquellos cuya proximidad a la solución ideal se acerca a 1.

Estos son los resultados ordenados de mejor a peor:

Alternativa 3	Depósitos infiltración	0,740
Alternativa 4	Zanja de infiltración	0,704
Alternativa 5	Pozo de infiltración	0,643
Alternativa 1	Pavimento permeable	0,570
Alternativa 11	Áreas de bioretención	0,563
Alternativa 6	Cunetas verdes	0,530
Alternativa 2	Cubierta verde	0,518
Alternativa 7	Drenes filtrantes	0,493
Alternativa 10	Estanques de retención	0,491
Alternativa 9	Depósitos superficiales de detención	0,473
Alternativa 13	Humedales artificiales	0,368
Alternativa 8	Franjas filtrantes	0,361
Alternativa 12	Filtros de arena	0,251

Tabla 44- Puntuación método Topsis del caso particular. Elaboración propia

4.3.2 Método SAW

En el anexo 2 encontramos los cálculos de este método. Con ellos hemos obtenido los SUDS más convenientes de emplear en países empobrecidos, aquellos cuya proximidad a la solución ideal se acerca a 1.

Estos son los resultados ordenados de mejor a peor:

Alternativa 4	Zanja de infiltración	0,876
Alternativa 3	Depósitos infiltración	0,869
Alternativa 5	Pozo de infiltración	0,787
Alternativa 2	Cubierta verde	0,758
Alternativa 11	Áreas de bioretención	0,708
Alternativa 6	Cunetas verdes	0,698
Alternativa 1	Pavimento permeable	0,694
Alternativa 10	Estanques de retención	0,675
Alternativa 7	Drenes filtrantes	0,665
Alternativa 9	Depósitos superficiales de detención	0,620
Alternativa 13	Humedales artificiales	0,566
Alternativa 8	Franjas filtrantes	0,550
Alternativa 12	Filtros de arena	0,473

Tabla 45- Puntuación final método SAW del caso particular. Elaboración propia

4.3.3 Método WASPAS

En el anexo 2 encontramos los cálculos de este método. Con ellos hemos obtenido los SUDS más convenientes de emplear en países empobrecidos, aquellos cuya proximidad a la solución ideal se acerca a 1.

λ	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
A1	0,647	0,651	0,656	0,661	0,666	0,670	0,675	0,680	0,685	0,689	0,694
A2	0,671	0,680	0,689	0,697	0,706	0,715	0,723	0,732	0,741	0,749	0,758
A3	0,839	0,842	0,845	0,848	0,851	0,854	0,857	0,860	0,863	0,866	0,869
A4	0,832	0,836	0,840	0,845	0,849	0,854	0,858	0,862	0,867	0,871	0,876
A5	0,735	0,740	0,746	0,751	0,756	0,761	0,766	0,771	0,776	0,782	0,787
A6	0,635	0,641	0,648	0,654	0,660	0,666	0,673	0,679	0,685	0,691	0,698
A7	0,602	0,608	0,614	0,621	0,627	0,633	0,639	0,646	0,652	0,658	0,665
A8	0,510	0,514	0,518	0,522	0,526	0,530	0,534	0,538	0,542	0,546	0,550
A9	0,574	0,579	0,584	0,588	0,593	0,597	0,602	0,607	0,611	0,616	0,620
A10	0,614	0,620	0,626	0,632	0,638	0,644	0,650	0,656	0,663	0,669	0,675
A11	0,680	0,683	0,686	0,689	0,691	0,694	0,697	0,700	0,703	0,706	0,708
A12	0,430	0,434	0,439	0,443	0,447	0,452	0,456	0,460	0,465	0,469	0,473
A13	0,530	0,539	0,547	0,555	0,564	0,572	0,581	0,589	0,597	0,606	0,614

Tabla 46- Puntuación final método WASPAS del caso particular. Elaboración propia

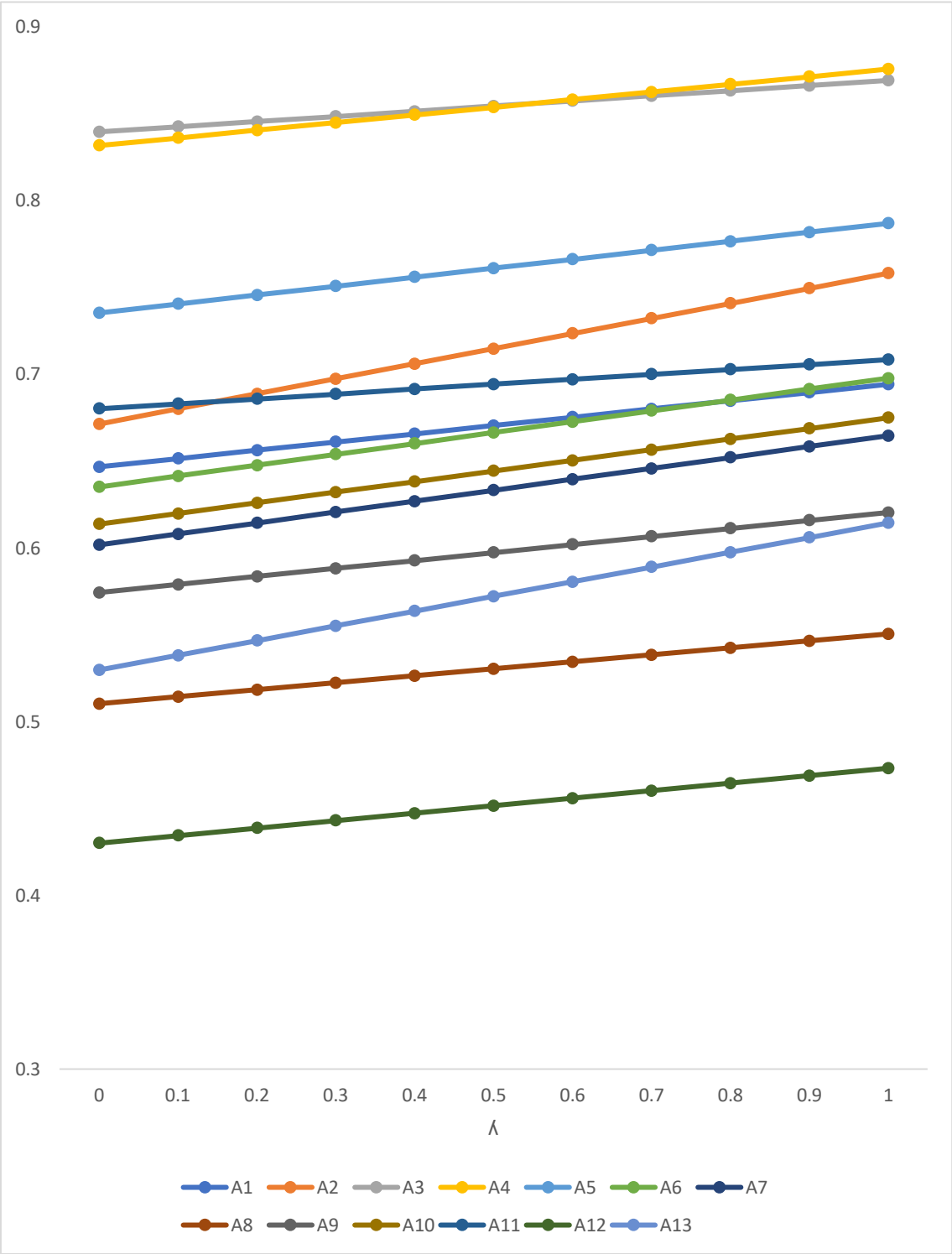
Estos son los resultados ordenados de mejor a peor:

λ	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
A3	A3	A3	A3	A3	A3	A3	A4	A4	A4	A4	A4
A4	A4	A4	A4	A4	A4	A4	A3	A3	A3	A3	A3
A5	A5	A5	A5	A5	A5	A5	A5	A5	A5	A5	A5
A11	A11	A2	A2	A2	A2	A2	A2	A2	A2	A2	A2
A2	A2	A11	A11	A11	A11	A11	A11	A11	A11	A11	A11
A1	A11	A1	A1	A1	A1	A1	A1	A1	A6	A6	A6
A6	A6	A6	A6	A6	A6	A6	A6	A6	A1	A1	A1
A10	A10	A10	A10	A10	A10	A10	A10	A10	A10	A10	A10
A7	A7	A7	A7	A7	A7	A7	A7	A7	A7	A7	A7
A9	A9	A9	A9	A9	A9	A9	A9	A9	A9	A9	A9
A13	A13	A13	A13	A13	A13	A13	A13	A13	A13	A13	A13
A8	A8	A8	A8	A8	A8	A8	A8	A8	A8	A8	A8
A12	A12	A12	A12	A12	A12	A12	A12	A12	A12	A12	A12

Tabla 47- Clasificación final método WASPAS del caso particular. Elaboración propia

Podemos observar que hay pequeñas variaciones en el orden de preferencia de las alternativas dependiendo del valor de λ .

En la gráfica a continuación se aprecia claramente las mejores alternativas



4.3.4 Selección final

Las alternativas que se van a contemplar para el cálculo particular de los sistemas de drenaje urbano en el caso de estudio en Córdoba, Veracruz, México; se elaborarán teniendo en cuenta el estudio realizado sobre SUDS en países empobrecidos, por lo que se evitará el uso de los SUDS peor clasificados.

TOPSIS	SAW	WASPAS											
		0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1	λ
A3	A4	A3	A3	A3	A3	A3	A3	A4	A4	A4	A4	A4	
A4	A3	A4	A4	A4	A4	A4	A4	A3	A3	A3	A3	A3	
A5	A5	A5	A5	A5	A5	A5	A5	A5	A5	A5	A5	A5	
A1	A2	A11	A11	A2	A2	A2	A2	A2	A2	A2	A2	A2	
A11	A11	A2	A2	A11	A11	A11	A11	A11	A11	A11	A11	A11	
A6	A6	A1	A11	A1	A1	A1	A1	A1	A1	A6	A6	A6	
A2	A1	A6	A6	A6	A6	A6	A6	A6	A6	A1	A1	A1	
A7	A10	A10	A10	A10	A10	A10	A10	A10	A10	A10	A10	A10	
A10	A7	A7	A7	A7	A7	A7	A7	A7	A7	A7	A7	A7	
A9	A9	A9	A9	A9	A9	A9	A9	A9	A9	A9	A9	A9	
A13	A13	A13	A13	A13	A13	A13	A13	A13	A13	A13	A13	A13	
A8	A8	A8	A8	A8	A8	A8	A8	A8	A8	A8	A8	A8	
A12	A12	A12	A12	A12	A12	A12	A12	A12	A12	A12	A12	A12	

Tabla 48- Clasificación final del caso particular. Elaboración propia

Analizando los datos obtenidos con los métodos TOPSIS, SAW y WASPAS, se obtienen los SUDS mejor clasificados con los tres métodos. Se puede observar que el orden de clasificación según el método elegido cambia ligeramente, pero los siete SUDS mejor clasificados son los mismos independientemente del método. Por lo tanto, los SUDS seleccionados para la elaboración de las alternativas en países empobrecidos serán los siguientes:

- A1- Pavimento permeable
- A2- Cubierta verde
- A3- Depósitos infiltración
- A4- Zanja de infiltración
- A5- Pozo de infiltración
- A6- Cunetas verdes
- A11- Áreas de biorretención

En particular, los SUDS que se utilizarán para la elaboración de las alternativas del caso de estudio de la ciudad de Córdoba, Veracruz en México serán:

A1- Pavimento permeable

A2- Cubierta verde

A4- Zanja de infiltración

Se ha evitado los pozos de infiltración debido a que necesita un área grande y sin pendiente y la ciudad de Córdoba en Veracruz es una ciudad masificada y con altas pendientes. Además, su mala ubicación, diseño o mantenimiento inhabilita su funcionamiento por lo que se ha optado por sistemas de drenaje más fáciles de mantener. Tampoco se ha optado por los pozos de infiltración ya que se obstruyen con facilidad y es difícil de detectar dichas obstrucciones, también resulta difícil evitar la cercanía con cimentaciones de edificación y carreteras. Las cunetas verdes y las áreas de biorretención a pesar de salir bien clasificadas para implantarlas en países empobrecidos no son aptas para zonas con mucha pendiente.

5 Caso de estudio seleccionado

5.1 Descripción

El caso de estudio seleccionado es la ciudad de Córdoba (México), cuyas coordenadas geográficas son latitud: 18,884°, longitud: -96,926°, y elevación: 836 m; consta de una superficie de 139Km² y tiene una densidad de población de 1342 Hab/Km².

Desde el punto de vista socioeconómico (planeación, 2018) la ciudad de Córdoba consta de las características de un país en vías de desarrollo en su totalidad. La tasa de analfabetismo es el 4,5% (INEGI. Encuesta Intercensal 2015), la población en situación de pobreza está en torno al 47,6% (Coneval 2015) a pesar de que la tasa de ocupación es del 95,1% (INEGI. Encuesta Intercensal 2015) ya que los salarios son tan bajos que no son suficientes para no encontrarse en una situación de vulnerabilidad.

Topográficamente, la ciudad de Córdoba es un valle que cuenta con regiones montañosas que la rodean. En un radio de 3 Km podemos encontrar cambios de altitud de 239m, en un radio de 16 Km las variaciones de altitud aumentan a 1511m y en 80 km podemos encontrar hasta 5573m de diferencia de altitud.

En un radio de 3 km observamos que la tierra de cultivo supone un 62%, las superficies artificiales solo suponen un 19% y las zonas ocupadas con árboles un 13%. Por estos datos, el aprovechamiento del agua de lluvia para regar las zonas agrícolas y arboladas podría suponer una importante disminución del agua de abastecimiento utilizada para este fin y del agua que llega por el alcantarillado para su saneamiento, ya que se necesitan grandes volúmenes de agua para tan grandes superficies a regar.

La ciudad de Córdoba está ubicada en el centro del estado de Veracruz y ha sido una zona comercial clave en el transporte de mercancía entre la Ciudad de México y el puerto de Veracruz. Está situada entre la cordillera montañosa de la Sierra Madre Oriental y la región montañosa del estado de Veracruz, por lo que se trata de un valle.

La clasificación general del suelo de la ciudad de Córdoba es de tipo arcillo-limoso, por lo que se puede prever una infiltración al terreno del agua de escorrentía a una velocidad de entre 8 y 10 mm/h. (Bautista, y otros, 1998)

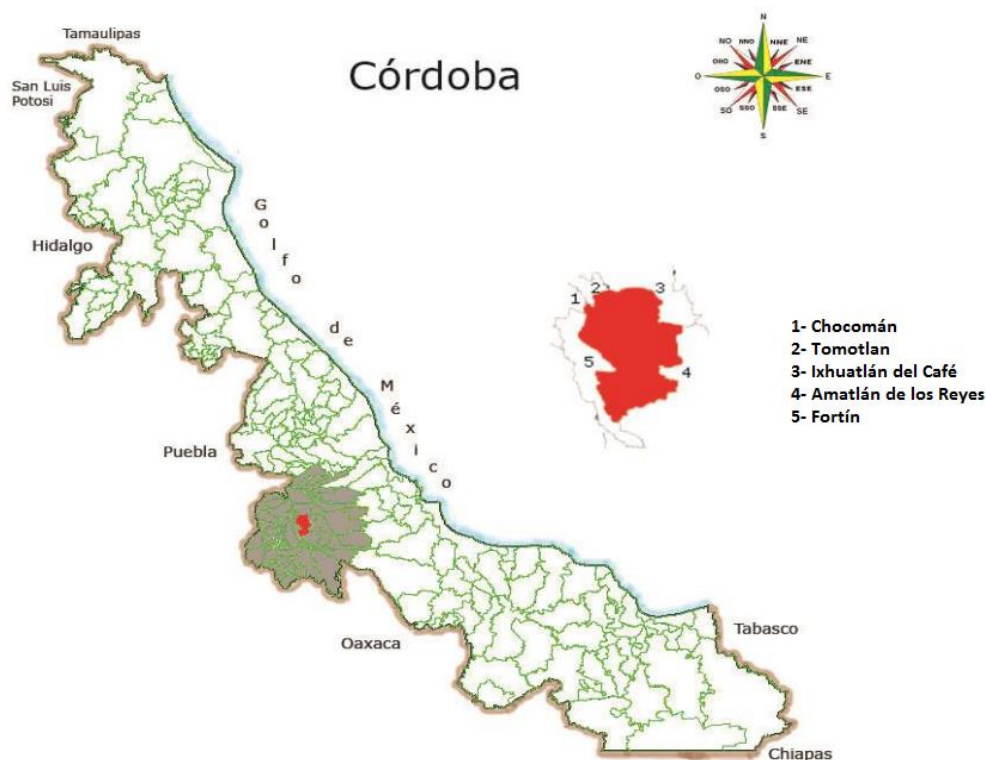


Imagen 21- Localización de Córdoba, Veracruz; <http://ceieg.veracruz.gob.mx/>

La ciudad de Córdoba tiene un clima cálido y fuertes lluvias durante varios meses al año. A 860 m sobre el nivel del mar, su temperatura oscila en valores promedio entre los 28°C en verano y los 12°C en invierno, con una precipitación media anual de 1800 mm

Se trata de una ciudad altamente poblada con una media de 1342 Hab/km². Su vegetación es de tipo selva baja caducifolia, selva alta caducifolia, y bosque mesófilo de montaña.

Se trata de una ciudad en la que la agricultura es muy importante, principalmente es una ciudad cafetera pero también se dan otros cultivos como la caña de azúcar, el plátano, el frijol, el maíz y el mango.

Córdoba está regada por los ríos Seco, San Antonio, Atoyac y Blanco, que tienen su origen en las montañas que la rodean

5.2 Datos climáticos históricos

Los datos de temperaturas y precipitaciones recogidos en la siguiente tabla y representados en el gráfico corresponden a valores promedios obtenidos desde el año 1982 hasta el año 2012. (Merkel, 2020)

La ciudad de Córdoba cuenta con una estación meteorológica automática (EMA) que recoge datos sobre la velocidad del viento y su dirección, presión atmosférica, temperatura y humedad relativa, radiación solar y precipitaciones.

Córdoba, por sus características geográficas y su precipitación media anual elevada, es una ciudad en la que la gestión del agua de una manera sostenible sería muy beneficiosa. El agua recolectada podría usarse tras un tratamiento previo para el riego en la ciudad.

	Temperatura Máx. (°C)	Temperatura Min. (°C)	Temperatura Media (°C)	Precipitación (mm)
Enero	23,4	11,9	17,6	50
Febrero	24,9	12,6	18,7	44
Marzo	26,9	14,0	20,4	46
Abril	29,6	16,2	22,9	55
Mayo	30,0	17,3	23,6	124
Junio	29,0	17,7	23,3	322
Julio	28,1	16,7	22,4	366
Agosto	28,6	16,9	22,7	329
Septiembre	28,0	17,2	22,6	385
Octubre	26,5	16,0	21,2	204
Noviembre	24,9	14,1	19,5	82
Diciembre	23,6	12,5	18,0	58

Tabla 49- Temperatura y precipitación de Córdoba <https://es.climate-data.org/>

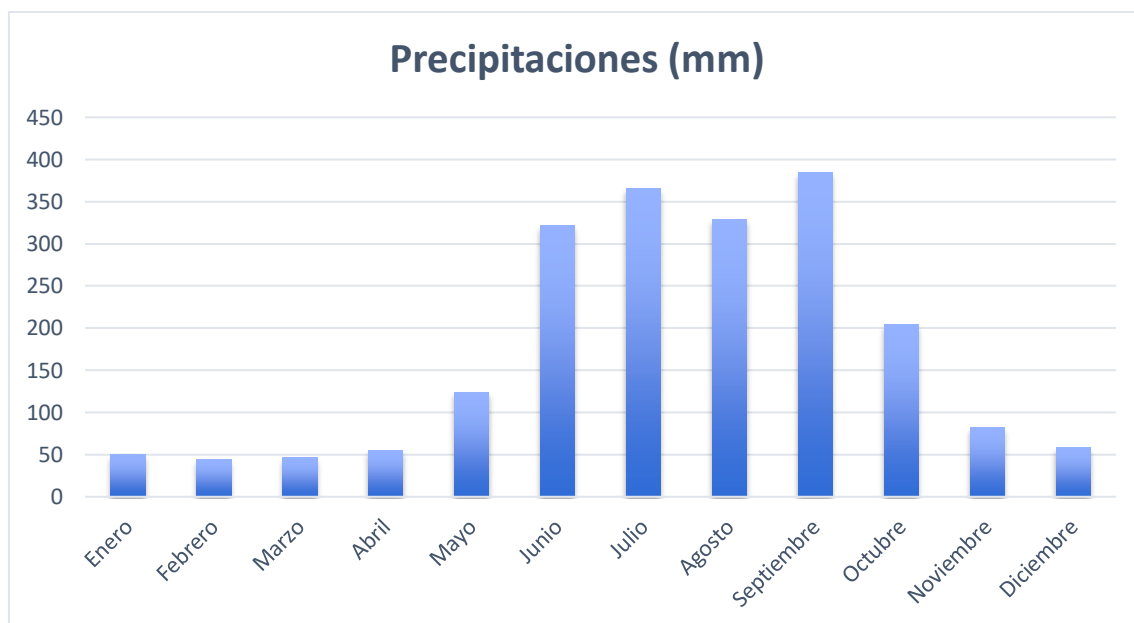


Imagen 50- Gráfico ilustrativo de las precipitaciones en tabla 33; elaboración propia

México se encuentra localizado entre las regiones ciclogénicas del Atlántico Norte y el Pacífico Nororiental, por lo que es altamente vulnerable a la incidencia de este tipo de fenómenos hidrometeorológicos. En cuanto a la ciudad de Córdoba los efectos de estos huracanes llegan en forma de tormentas tropicales y coinciden en el tiempo con la estación húmeda, siendo parte de la consecuencia del aumento de las precipitaciones durante este periodo. (México, 2020)

El clima de la ciudad de Córdoba según la clasificación climática de Köppen es de tipo subtropical templado húmedo Cfa, un clima caracterizado por temperaturas agradables (temperatura promedio de 19°C) y abundantes precipitaciones. (Merkel, 2020)

La estación húmeda de este tipo de clima va de mayo a noviembre y durante estos meses se concentra el 75% de las precipitaciones. Particularmente en la ciudad de Córdoba los meses de mayo, octubre y noviembre las lluvias son intensas, pero durante los meses de junio, julio y agosto las lluvias son torrenciales con promedios de más de 350 mm al mes.

El resto del año la ciudad de Córdoba pasa por una estación seca, aunque realmente no es una temporada de sequía ya que sigue habiendo precipitaciones (de 3 a 4 días al mes) aunque son de carácter leve o moderado. Las temperaturas durante esta estación no bajan en ningún momento de los 5°C.

5.3 Características hidrográficas

La ciudad de Córdoba se ubica dentro de la Región Hidrológica 28 Papaloapan y se divide por el parteaguas de las cuencas, de acuerdo con el Diario Oficial de la Federación (DOF), Río Jamapa-Cotaxtla y Río Blanco.

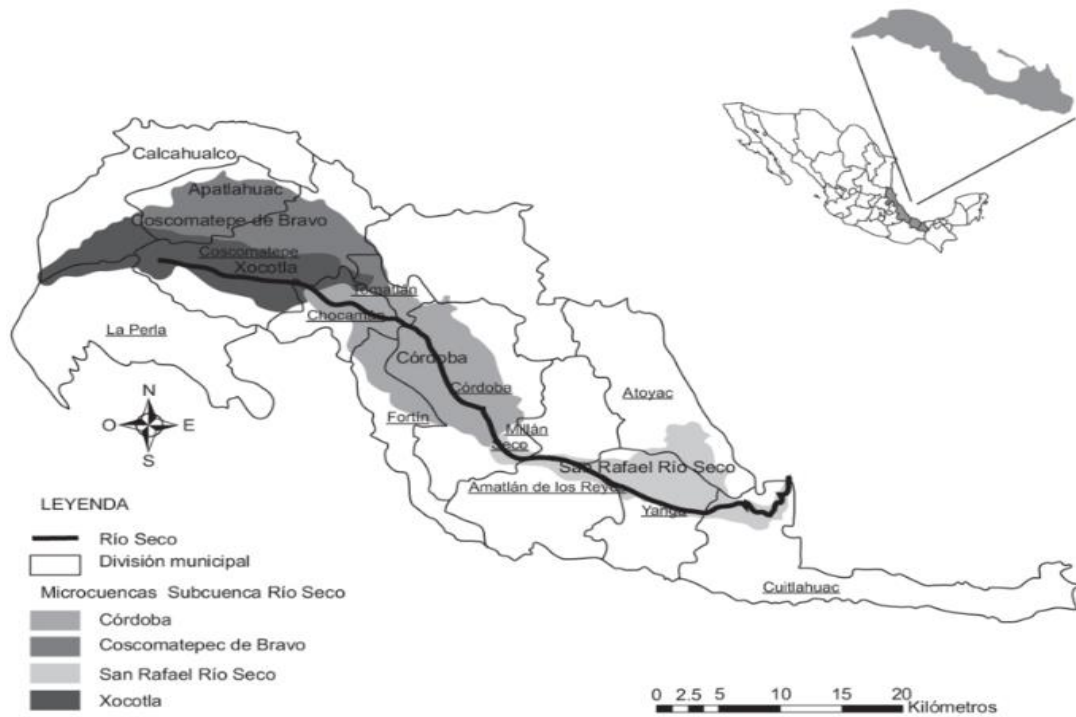


Imagen23- Microcuencas del río Seco

https://www.researchgate.net/publication/262739046_Enfoque_de_cuenca_para_la_identificacion_de_fuentes_de_contaminacion_y_evaluacion_de_la_calidad_de_un_rio_Veracruz_Mexico

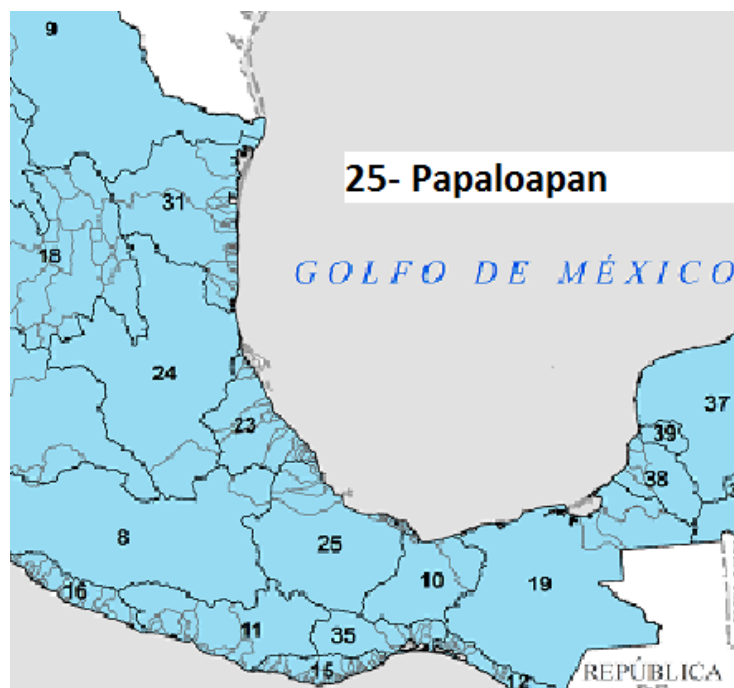


Imagen 24- Cuenca Papaloapan www.conabio.gob.mx

5.4 Problemática

El sistema de drenaje de la ciudad es insuficiente ya que durante los periodos de lluvias las alcantarillas son incapaces de gestionar tanta agua y acaban desbordándose, inundando varias calles. Además, al tener calles con fuertes pendientes, el agua baja a gran velocidad arrastrando un gran contenido de contaminantes. La captación de dicha agua de lluvia para su posterior uso no ha sido fácil de abordar, ya que las precipitaciones se dan de manera torrencial durante ciertos meses y en cortos periodos de tiempo.

Situaciones como las de la (imagen 25) se dan cada año. La imagen no corresponde a una zona apartada de la ciudad, sino que se trata del parque más céntrico, encuadrado entre el palacio municipal de Córdoba (Ayuntamiento) en la calle 1 y la catedral del Sagrario de la Inmaculada Concepción en la calle 3. Además, esta zona no está en una vaguada a la que lleguen precipitaciones de todos los alrededores, sino que se encuentra en una zona alta y a pesar de esto sufre de este problema debido a las lluvias torrenciales durante la estación húmeda.



Imagen 25- Foto inundaciones parque 21 de mayo <https://th.bing.com/>

Actualmente, la gestión del agua tanto de abastecimiento como de saneamiento se lleva a cabo por la empresa HidroSistema de Córdoba, la cual admite en su página web que los ríos Seco, San Antonio y los 14 arroyos cercanos están actualmente funcionando como colectores a cielo abierto de aguas residuales. Se está trabajando en la rehabilitación de dos plantas ya existentes de tratamiento de aguas residuales para rescatar estos cuerpos de agua. Hay un plan para el control de descargas que incluye la rehabilitación de colectores existentes y la construcción de otros colectores adicionales para mejorar la gestión del agua. Además, se han elaborado un Sistema de Captación Pluvial denominado “Cosechando Agua de Lluvia” para la captación y abastecimiento de agua con la intención de satisfacer las necesidades de las comunidades marginadas.

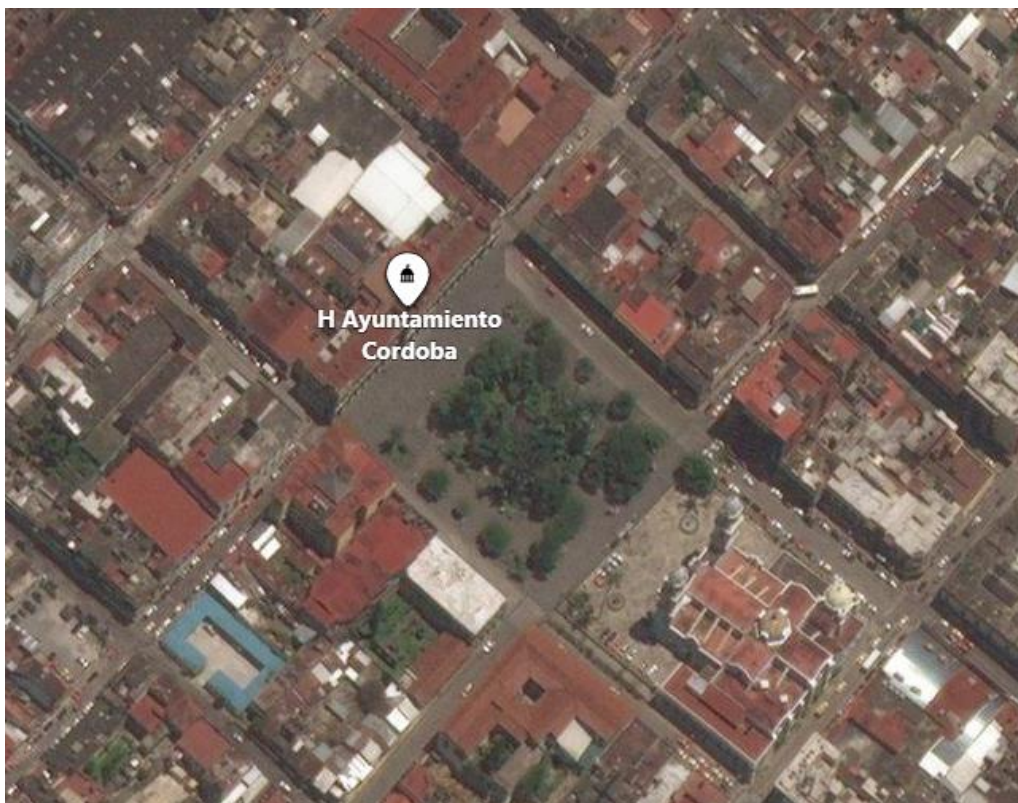


Imagen 26- Foto aérea parque 21 de mayo <https://www.bing.com/>

El problema principal de la ciudad de Córdoba objeto de análisis no es la escasez de agua, ya que la precipitación supera la media nacional, el problema es la mala gestión debido a la deforestación, contaminación de ríos, etc., que reducen el caudal aprovechable.

HidroSistema cuenta ya con medidas no estructurales como el programa “amistad con el agua”, el cual promueve la conciencia, aprecio, conocimiento y necesidad del cuidado de este recurso.

El programa contempla la difusión de la cultura del agua a estudiantes, padres de familia, maestros, empresarios y sociedad en general, mediante conferencias en colonias, concursos o campañas informativas en diferentes medios de comunicación, buscando que la sociedad participe aportando soluciones para el cuidado del agua.

6 Aplicación de la metodología propuesta

Después de analizar de una manera cualitativa el catálogo de SUDS, se proponen ciertas actuaciones en la ciudad de Córdoba que contemplan los SUDS que resultaron ser más apropiados para los países empobrecidos en general.

6.1 Alternativas

Con el fin de disminuir el agua de escorrentía a la vez que se mejora la calidad del agua que llega al sistema de alcantarillado se proponen las siguientes alternativas de actuación en distintas zonas de la ciudad.



Imagen27- mapa con zonas contempladas en alternativas y ríos influyentes; Elaboración propia en Google earth

6.1.1 Alternativa 1

Mejoras en el parque 21 de Mayo encuadrado entre el Palacio Municipal de Córdoba (ayuntamiento) en la calle 1 y la catedral del Sagrario de la Inmaculada Concepción en la calle 3. Este parque tiene la mayoría de su superficie de hormigón, exceptuando algunas zonas verdes concentradas en el centro. Dado que bajo él no existe ninguna construcción subterránea, la solución a adoptar será la sustitución del pavimento por uno permeable.



Imagen 28- vista aérea parque 21 de Mayo (maps)



Imagen 29- vista lateral parque 21 de Mayo (Google earth)

El área de pavimento que se sustituirá por uno permeable es de 6000 m² y se mantendrán las áreas vegetadas existentes ya que cada pequeña zona vegetada se encuentra correctamente cercada mediante adoquines, lo que permitirá garantizar la no colmatación de la nueva superficie permeable que podría producirse si ambas zonas fuesen continuas.



Imagen 30- Áreas vegetadas protegidas en parque 21 de Mayo (Google earth)

6.1.2 Alternativa 2

Como mejoras en los alrededores del parque 21 de mayo, y aprovechando que el palacio municipal dispone de azotea plana de 680 m², se propone la transformación de esta en una cubierta verde. De esta manera no solo se mejorarán los problemas derivados de las precipitaciones, sino también mejorará la estética del palacio municipal. Además, dado que la catedral dispone de una gran plaza de 2270 m² prácticamente a continuación del propio parque, se instalará un pavimento permeable. Además, la pequeña inclinación longitudinal existente desde el parque a la catedral permitiría recoger parte del agua de lluvia caída sobre el propio parque, interceptando la escorrentía superficial hacia la catedral.

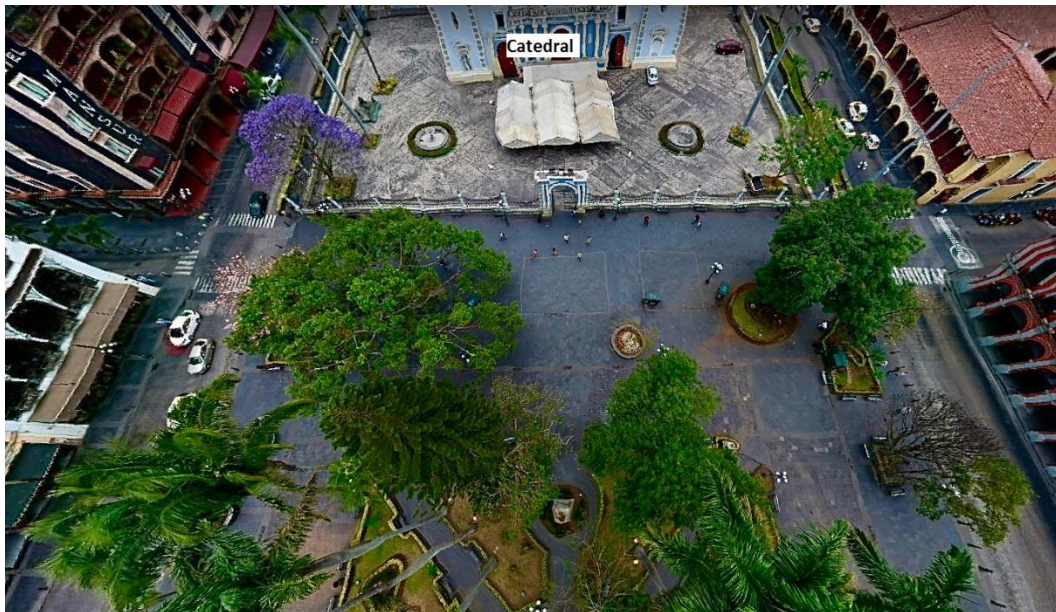


Imagen 31- Vista aérea plaza de catedral y parque 21 de Mayo (Google earth)



Imagen 32- Vista aérea azotea del palacio municipal (Google earth)

6.1.3 Alternativa 3

En esta alternativa se plantean una serie de mejoras en el parque San José. Este parque también tiene una gran superficie impermeable de 3000 m² susceptible de mejora mediante un firme permeable que permita la infiltración del agua de lluvia directamente al terreno, evitando así el abundante flujo de escorrentía en la superficie que se da sobre todo en la estación húmeda debido a las lluvias torrenciales. También, aprovechando que dispone de anchas aceras a su alrededor, se propone disponer en ciertos tramos zanjias filtrantes entre las zonas verdes del parque y las aceras exteriores. Se colocarán 4 zanjias con una superficie de 20m * 0.5m, una en cada costado del parque.

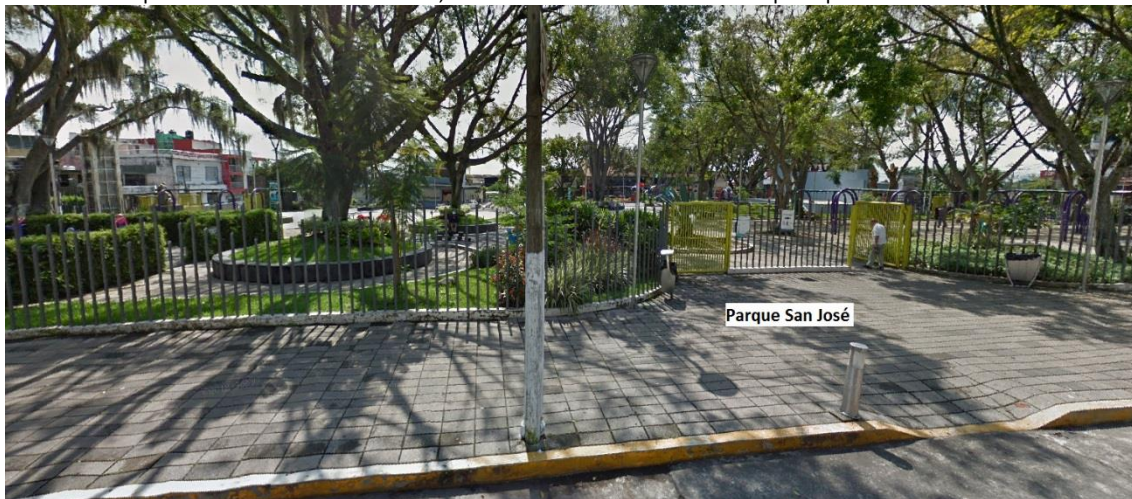


Imagen 33- Lateral y acera alrededor del parque San José (Google earth)



Imagen 34- Interior parque San José con pavimento impermeable (maps)

6.1.4 Alternativa 4

Se propone la permeabilización de un tramo del boulevard Córdoba- Fortín de las flores. Se trata de una avenida principal con dos carriles por sentido separados por una mediana y que atraviesa todo el casco urbano de la ciudad. El tramo por mejorar tiene una longitud de 330 m con una inclinación de 1,2%.

No se eliminará el área vegetada perteneciente a la mediana que hay entre ambos carriles, pero se mejorará su superficie intentando evitar la colmatación de la superficie permeable por causa de residuos provenientes de estas medianas.



Imagen 35- Boulevard Córdoba-Fortín de las flores (Google earth)



Imagen 36- Sección transversal boulevard Córdoba-Fortín de las flores (maps)

6.2 Consideraciones preliminares de diseño

6.2.1 Áreas permeables

La siguiente imagen muestra un pavimento permeable con todas sus capas. Se puede observar la dirección del agua de lluvia y de escorrentía y como parte de este se almacena en el interior del pavimento antes de infiltrarse al terreno.

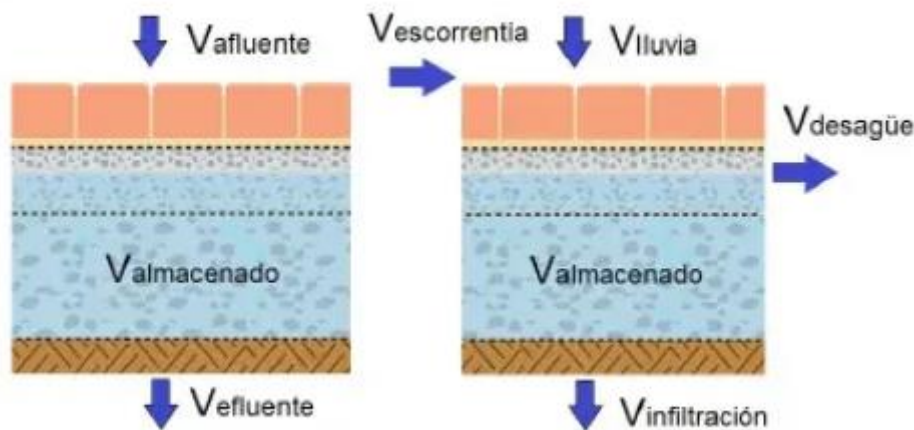


Imagen 37- Sección transversal firme permeable <https://es.scribd.com/document/381125324/FIRMES-PERMEABLES-pdf>

El volumen afluente es la suma del volumen de lluvia y el de escorrentía, el efluente es el de infiltración y de desagüe. El volumen almacenado lo obtenemos restando al volumen afluente el efluente.

Conociendo el terreno y los materiales de construcción podemos calcular la altura de la subbase. Para calcular la altura de la subbase no se tiene en cuenta la capacidad de desagüe ya que se corresponde con la situación más desfavorable (coeficiente de escorrentía es 1 y que la capacidad de campo es 0).

Las áreas permeables serán de tipo discontinuo, formado por adoquines excepto en la alternativa 4 que al tratarse de una carretera y no una zona de tránsito peatonal, se utilizará hormigón poroso.

6.2.2 Cubiertas verdes

Debe añadirse una membrana impermeable para que el agua que se infiltre y no cause daños en la estructura. Seguidamente debe colocarse una membrana anti-raíces para que estas no puedan penetrar en la cubierta y no dañen la capa impermeable. Después se coloca el sistema de drenaje que evitará el estancamiento del agua, lo cual no es beneficioso para la vegetación. Y por último se colocará el sustrato y la cubierta vegetal.

Antes de diseñar correctamente una cubierta verde debe de estudiarse la capacidad de la estructura para soportar ese peso extra que aportará la cubierta y debe contemplarse el peso puntual proporcionado por los operarios de mantenimiento, así como el peso de las personas que puedan acceder en el caso de que se le dé un uso recreativo.

En la alternativa 2 del caso de estudio se va a considerar que el Palacio Municipal dispone de una estructura suficiente para soportar la cubierta verde añadida, cuyo peso es de alrededor de 150 kg/m^2 (Delgado Peralta, 2008), así como a los operarios de mantenimiento, ya que no se dispone de datos exactos para su cálculo. Por precaución no se le dará un uso recreativo. Además, se considera que el edificio es lo suficientemente robusto ya que es uno de los edificios más importantes de la ciudad, de estilo Florentino-Neoclásico, en el cual resaltan sus 21 resistentes pilares a lo largo de toda su fachada.



Imagen 38- Palacio municipal de Córdoba (maps)

Los requisitos para construir una cubierta verde en México están recogidos en la Norma Ambiental NADF-013-rnat-2007 publicada en la Gaceta oficial del Distrito Federal en 2008. En ella se recogen 4 requisitos básicos: el primero es analizar mediante cálculo estructural la estabilidad y resistencia mecánica, sabiendo que una cubierta verde aporta entre 110 y 250 Kg/m^2 ; el segundo es la correcta impermeabilización de la edificación; el tercero es la resistencia a la acción de las raíces sobre la estructura garantizando que no penetren en el material impermeabilizante y que no afecte a la estructura; y por último, la seguridad civil de maniobras que se refiere al acceso para el mantenimiento de la

vegetación e instalaciones. Siguiendo esta Norma la pendiente mínima en azoteas planas es del 2%.

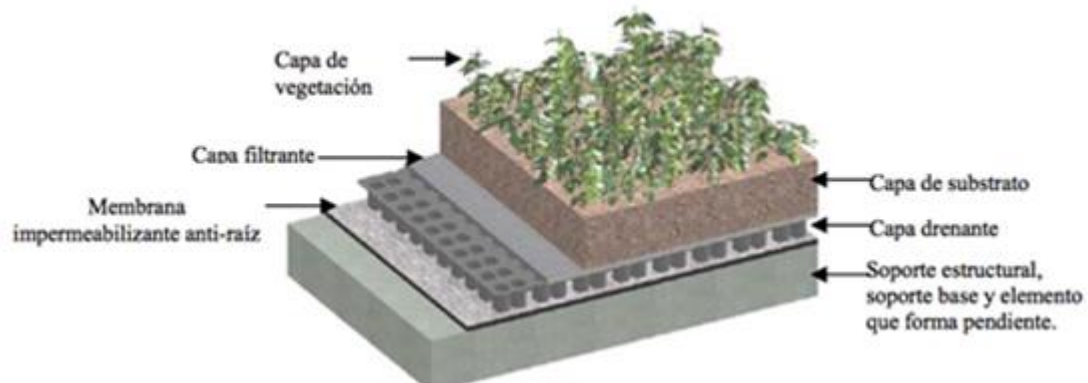


Imagen 39- Sección cubierta verde www.ordenjuridico.gob.mx

Como no vamos a calcular la resistencia del edificio a esta nueva cubierta, utilizaremos un tipo de naturalización extensiva, con una cobertura vegetal formada por crasuláceas, ya que es la que menor carga aporta a la estructura (100-140 Kg/m²). En este tipo de cubiertas la capa de sustrato debe ser de 10-15 cm con una altura de crecimiento de plantas de 5-50 cm.

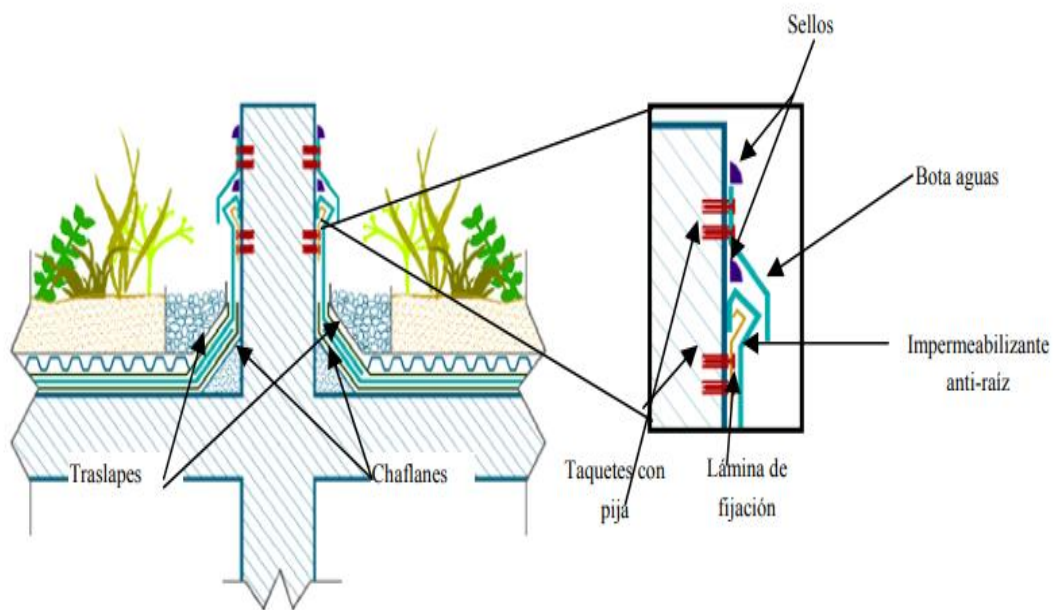


Imagen 40- Sección cubierta verde con encuentro de pilar www.ordenjuridico.gob.mx

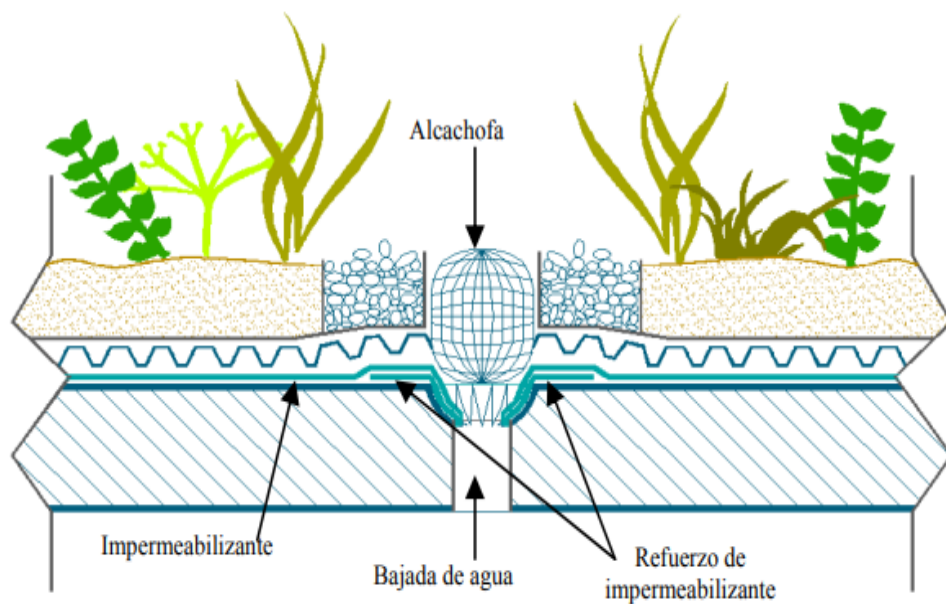


Imagen 41- Encuentro cubierta verde con bajada de agua www.ordenjuridico.gob.mx

El área de la superficie de la azotea que se convertirá en cubierta verde en la alternativa 2 es de 680 m^2 , que será el área del elemento de drenaje.

El área de la membrana impermeabilizante y anti-raíz se incrementará en 30 cm en todo su perímetro, siendo este de $P=200 \text{ m}$.

$$A_{\text{mem impermeable}} = A_{\text{mem antiraiz}} = 680 + 200 * 0.3 = 740 \text{ m}^2$$

Obtenemos que para nuestra área de 680 m^2 habrá que colocar 740 m^2 de membrana impermeabilizante y anti-raíz.

El volumen de sustrato será el área de la cubierta que vamos a convertir en cubierta verde multiplicado por la altura de la capa de sustrato:

$$V = A_{\text{cubierta}} * h_{\text{sustrato}} = 680 * 0,15 = 102 \text{ m}^3$$

6.2.3 Zanjas filtrantes

Tras excavar la zanja, y previo a la colocación de la tubería, hay que colocar una capa de grava limpia de mínimo 0,05m con granulometría entre 2,0 y 5,0 cm; después se coloca la tubería y se rellena con el mismo material hasta cubrir por completo la tubería; y finalmente se rellena el resto de la zanja con un material filtrante tipo arena limpia. (Ambiente, 2003)

Para llevar a cabo la excavación necesaria para la formación de zanjas en México hay que seguir la Norma 3.01.01.006, la cual explica las pautas y precauciones que hay que considerar. Esta norma hace mención a la verificación de la estabilidad de las paredes verticales. En la Norma 3.01.01.007 se explican las operaciones para llenar, ya sea de manera manual o mecánica, las zanjas que albergan ductos, drenes o algún tipo de tubería. Estas Normas pertenecen al libro 3 tomo 1 “Construcción e instalaciones. Obra civil en urbanización” perteneciente a las Normas de construcción de la administración pública del Distrito Federal. (Ebrad Casaubón, 2000)

El dimensionamiento de las zanjas se llevará a cabo según la documentación de la Norma NOM-006-CNA-1997. (México, 1997)

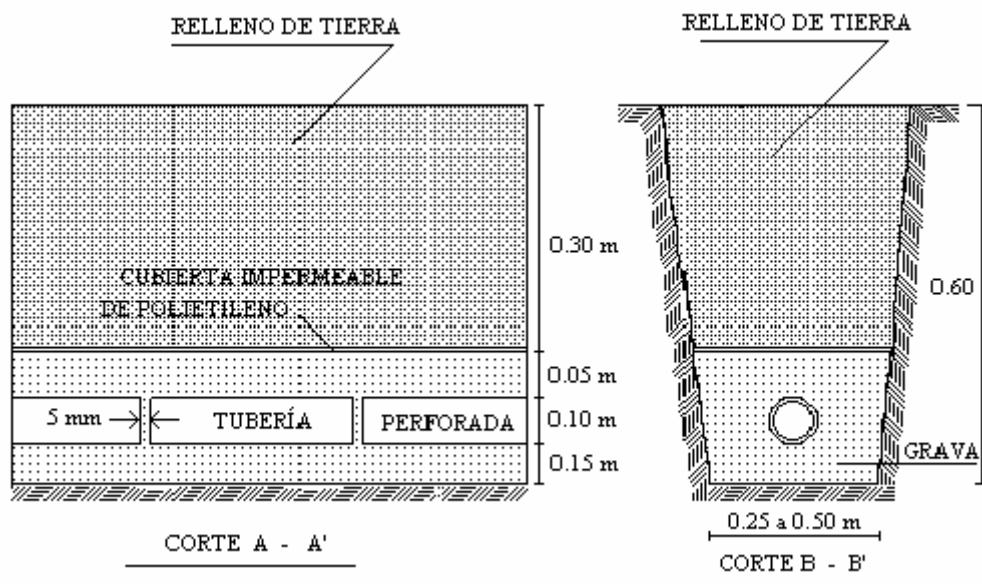


Imagen 42- Secciones de zanja; NOM-006-CNA-1997

6.3 Criterios de selección

Para seleccionar los criterios adecuados para la valoración de las alternativas de SUDS se va a tener en cuenta el concepto desarrollado por Gandhi de ‘Tecnología apropiada’ (Boullosa, 2010), según el cual no existe una tecnología óptima aplicable a todos los contextos, sino que han de estudiarse bien los factores que lo afectan. Así pues, aplicado al caso de estudio, lo que resulta óptimo para un país desarrollado puede no serlo para uno empobrecido. Como se ha comentado ya, estos últimos pueden hacer frente a menores costos de ejecución y mantenimiento, e incluso hay que tener en cuenta los materiales disponibles en la zona y la capacitación de los empleados a la hora de llevar a cabo cualquier actuación. (Arribas Giner, y otros, 2011)

6.3.1 Criterios económicos

Coste de ejecución

Se incluyen los costes de los materiales, maquinaria y mano de obra necesaria para la correcta ejecución de las obras.

Cubiertas verdes

El precio estimado por m² es de \$ 489.98, y se ha obtenido de un trabajo reciente de 2019 llevado a cabo bajo la supervisión de la Universidad Veracruzana en una zona que al igual que la zona de estudio pertenece al estado de Veracruz (Cortés Sosa, 2019). Esta estimación se considera suficientemente precisa dada la cercanía de ambas ciudades y teniendo en cuenta que el estudio es relativamente reciente.

La vegetación contemplada será de tipo extensivo y se utilizarán plantas de la región, evitando así el empleo de plantas invasoras como el pasto “San Agustín” y algunas plantas Crasuláceas. En México se dan 80 de las 140 plantas Crasuláceas que se conocen, por lo que es muy fácil su adquisición. Estas plantas son capaces de captar metales pesados del ambiente, tales como, el mercurio, arsénico, plomo, selenio, cadmio, bario y cromo, y depositarlos en su cuerpo vegetal sin sufrir alteraciones. (Buronoticias, 2017)

Pavimento permeable

El firme permeable que se va a utilizar en el boulevard Fortín-Córdoba será de la marca Hidrocreto, que ha sido desarrollado por el mexicano Jaime Grau Genesías. Este sistema ayuda a la infiltración del agua en el terreno. Es un material que al mezclarse con cemento resulta en una mezcla porosa muy maleable y fácil de manejar. Este pavimento, que tiene muy alta resistencia a la compresión (250 Kg/cm²) y también a la flexión (60 Kg/cm²), ha recibido varios premios, entre ellos uno otorgado por el Gobierno de México en el año 2000, el “Premio nacional de ecología”.

El sistema constructivo consiste en abrir una caja de 40 cm de profundidad, compactar el terreno con medios mecánicos, abrir pozos de absorción de 1m³ cada 100m², rellenar con balasto los pozos y toda el área, compactar el relleno quedando este con una altura de 25 cm, rellenar con grava, compactar para que esta quede con una altura de 5 cm y colocar el pavimento permeable con vibro-compactadores dándole una altura de 10 cm.

Para el cálculo del precio de ejecución se ha tenido en cuenta el trazado y la nivelación, el corte del terreno y la retirada de material sobrante, la conformación y compactación del terreno natural, los pozos necesarios cada 100 m², el balasto, la grava y el suministro y colocación del Hidrocreto, incluyendo la cimbra y el material, suponiendo todo ello un precio de \$ 503.64 por m². (Concreto ecológico de México S.A. de C.V.)

Para los pavimentos permeables peatonales que se instalarán en el Parque 21 de Mayo, el Parque San José y la Plaza de la Catedral, se utilizará un pavimento permeable con adoquines e Hidrocreto cuyo coste de ejecución incluyendo material, mano de obra y maquinaria será de \$ 390.36 por m² (Group, 2021).

Zanjas filtrantes

Los precios para la ejecución de zanjas filtrantes son los que se muestran en la tabla siguiente (Tabla XX).

	Precios unitarios
Excavación de zanja	172.00 \$/m ³
Suministro e instalación de tubo de pvc de 102mm	77.13 \$/m
Cama de grava para asiento de ductos	594.64 \$/m ³
Relleno de zanja con material de excavación	116.48 \$/m ³
Precio total de las 4 zanjas	

Tabla 50- Coste ejecución de zanjas filtrantes (México, 2020)

Estos precios se han obtenido a partir del documento “Precios unitarios para realizar los estudios de ajuste de costos del mes de enero de 2020 respecto del tabulador 2019, según los artículos 54 de la Ley de obras públicas del Distrito Federal y el artículo 65 de su reglamento”, emitido por la secretaría de obras y servicios de la ciudad de México, subsecretaría de infraestructura, dirección de ingeniería de costos, normas y registros de obra pública. (México, 2020)

Coste mantenimiento

Se calculará en base al mantenimiento necesario para el correcto funcionamiento de los SUDS contemplados en cada alternativa correspondiéndose a las actuaciones necesarias durante un año.

Cubiertas verdes

El mantenimiento de este tipo de vegetación durante un año resulta muy sencillo ya que no se necesita empleados altamente cualificados, lo cual es muy conveniente en países empobrecidos. El mayor coste vendrá de la aportación periódica de agua que estará en torno a \$ 204.96 por m², considerando un riego de 14l/m² cada 3 días y un coste de 0.12 \$ por litro de agua. (Cortés Sosa, 2019).

Pavimentos permeables

Este tipo de pavimentos no necesitan un alto mantenimiento; el problema que puede surgir es por colmatación de la superficie debida a sedimentos. Su vida útil puede alcanzar los 20 años y solo se precisaría una revisión anual para comprobar que no hay grandes pérdidas de permeabilidad y un barrido cuando así se requiera o limpieza con agua a presión seguido de aspiración (Rodriguez Hernandez, 2008).

El precio estimado para su mantenimiento es de \$186.59 por m² al año. (Unam, 2019)

Zanjas filtrantes

El precio anual estimado para el mantenimiento de estas zanjas está en \$7,29 por cada metro de zanja (CYPE, 2021) y se dispondrán 4 zanjas de 20m cada una.

6.3.2 Criterios sociales

Aceptación ciudadana

Se refiere a la percepción por parte de la ciudadanía de las mejoras. Teniendo en cuenta los datos obtenidos de (Wood-Ballard, y otros, 2007), las alternativas se han elaborado no solo con los SUDS seleccionados para países empobrecidos mediante las técnicas del análisis multicriterio, sino que todos los SUDS empleados están categorizados con una aceptación ciudadana alta.

Se han tenido en cuenta los comentarios del Coordinador de Cooperación Internacional de la Escuela de Ingenieros de Caminos de la Universidad de Cantabria, D. Pedro Lastra González, ya que este criterio debe ser un requisito y no algo opcional para que realmente se lleve a cabo cualquiera de las alternativas valoradas. Por esto, los SUDS empleados en las alternativas del caso particular de estudio son todos de alta aceptación ciudadana y por lo tanto se excluye este criterio en la evaluación de una alternativa frente a la otra, dándose por cumplido en todas ellas.

6.3.3 Criterios ambientales

Disminución del volumen de agua de escorrentía

Se trata del volumen de agua que gracias a los SUDS construidos no llega al alcantarillado ya que se infiltra directamente al terreno. El terreno en el caso de estudio tiene una infiltración estimada de 10 mm/h.

Cubiertas verdes

Con precipitaciones en torno a los 40mm se prevé una retención cercana al 65% de la precipitación, sin embargo, para precipitaciones mayores a 100 mm la retención se reduce al 25%. Por ello, en el caso de la ciudad de Córdoba los meses más lluviosos, que son de mayo a octubre, se estima reducir la escorrentía de la superficie que ocupa la cubierta verde en un 25%. (Gustavo Rosatto, y otros, 2013).

La infiltración prevista será el porcentaje de retención multiplicado por la intensidad de lluvia y por el área de la cubierta verde ($25/100 * 10\text{mm/h} * A_{\text{cubierta verde}}$)

Pavimento permeable

En los pavimentos permeables de tipo Ecocreto instalados en parques y plazas se estima obtener un 100% de retención del agua. (Concreto ecológico de México S.A. de C.V.)

En el firme permeable utilizado en el Boulevard Fortín-Córdoba se usará Hidrocreto, el cual se estima que retiene el 100% del agua de lluvia en esa área. (C.V., 2021)

La infiltración prevista será el porcentaje de retención multiplicado por la intensidad de lluvia y por el área de pavimento permeable ($100/100 * 10\text{mm/h} * A_{\text{pavimento permeable}}$)

Zanjas filtrantes

Este sistema de drenaje tiene una absorción efectiva de $1,5 \text{ m}^2/\text{m}^2$ (cidta.usal, 2021), por lo que se considerará un porcentaje de retención del 150%

La infiltración prevista será de $150/100 * 10\text{mm/h} * \text{Área de zanja filtrante}$

Disminución de contaminantes

Es difícil de calcular la reducción exacta de los contaminantes, por lo que para comparar una alternativa con otra se tendrá en cuenta la valoración subjetiva de cada uno de los SUDS utilizados multiplicada por el área que ocupan, basada en los rendimientos de depuración publicados en estudios previos (Wood-Ballard, y otros, 2007). De esta manera se podrá asignar un valor concreto a cada alternativa a pesar de que se compongan de varios SUDS.

Cubiertas verdes

Este sistema de drenaje urbano sostenible tiene una valoración subjetiva alta en cuanto a disminución de contaminantes por lo que se valorará con 3 puntos por m².

Pavimentos permeables y zanjas filtrantes

En el caso de los pavimentos permeables y zanjas filtrantes su valoración subjetiva de reducción de contaminantes es media por lo que se le asignará un valor de 2 puntos por m².

Potencial creación de hábitat

Se medirá en base a la absorción de CO₂ debida a la vegetación añadida. La vegetación utilizada será el pasto “San Agustín” y algunas plantas Crasuláceas por lo que para evaluar una alternativa con respecto a la otra se medirán los m² vegetados. La absorción de CO₂ en este tipo de plantas al realizar la fotosíntesis, oscila entre el 45 y el 50% del peso seco de la planta. Como el tipo de vegetación es la misma en cada alternativa, el cálculo exacto de la absorción de CO₂ no es necesario, pudiéndose comparar directamente el área vegetada en cada alternativa.

6.4 Ponderación de los criterios

La metodología elegida para la ponderación de los criterios contemplados para poder después valorar correctamente las alternativas será el **método CRITIC**. Así, a diferencia del estudio realizado en el capítulo 4 de selección de SUDS para países empobrecidos mediante análisis multicriterio, en este caso se tienen valoraciones cuantitativas de las alternativas para cada uno de los criterios, aportando por tanto este método unos resultados más precisos para el caso de estudio de la ciudad de Córdoba, Veracruz.

Para aplicar el método CRITIC se requiere formar la matriz de decisión (Tabla 52), para lo cual se necesita cuantificar cada criterio para todas las alternativas.

	Criterio 1	Criterio 2	Criterio 3	Criterio 4	Criterio 5
Alternativa 1	X11	X12	X13	X14	X15
Alternativa 2	X21	X22	X23	X24	X25
Alternativa 3	X31	X32	X33	X34	X35
Alternativa 4	X41	X42	X43	X44	X45

Tabla 51 -Matriz de decisión (elaboración propia)

Criterio 1 - Coste de ejecución

- Alternativa 1

Parque 21 de mayo con pavimento permeable. El área de pavimento permeable es de 6000m², descontadas ya las zonas verdes que se mantendrán por estar protegidas por adoquines que delimitan cada zona evitando así los daños que la vegetación podría causar al pavimento debido a la colmatación de la superficie. El coste se calcula multiplicando el área de pavimento que se convertirá en permeable por el precio obtenido en el apartado 6.3.1

$$X11 = 6000 \text{ m}^2 * 390,36 \frac{\$}{\text{m}^2} = \$ 2\,342\,160,00$$

- Alternativa 2

Pavimento permeable en los alrededores de la catedral que abarca un área de 2270 m² y cubierta verde en la azotea del palacio municipal de Córdoba con una superficie de 680 m². El coste se obtiene multiplicando el área del pavimento que se convertirá en permeable y el área de azotea que se convertirá en cubierta verde por sus correspondientes precios obtenidos en el apartado 6.3.1.

$$X21 = 2270 \text{ m}^2 * 390,36 \frac{\$}{\text{m}^2} + 680 \text{ m}^2 * 489,98 \frac{\$}{\text{m}^2} = \$ 1\,219\,303,60$$

- Alternativa 3

Firme permeable en parque San José con un área de 3000 m² y zanjas filtrantes en los alrededores del parque. El coste se obtiene multiplicando el área del pavimento que se convertirá en permeable multiplicado por su precio y sumado al coste de ejecución de las zanjas (ambos precios obtenidos en el apartado 6.3.1)

	Precios unitarios	Medida	Precio
Excavación de zanja	172.00 \$/m ³	18.000 m ³	\$ 3 096.00
Suministro e instalación de tubo de PVC de 102mm	77.13 \$/m	80.000 m	\$ 6 170.40
Cama de grava para asiento de ductos	594.64 \$/m ³	1.172 m ³	\$ 696.92
Relleno de zanja con material de excavación	116.48 \$/m ³	2.625 m ³	\$ 305.76
Precio total de las 4 zanjas			\$ 10 269.08

$$X31 = 3000 \text{ m}^2 * 390.36 \frac{\$}{\text{m}^2} + 10\,269.08 \$ = \$ 1\,181\,349.08$$

- Alternativa 4

El área total del firme del boulevard Córdoba-Fortín de las Flores que se pretende sustituir por firme permeable es de 39560 m². El coste se obtiene multiplicando el área de carretera que se convertirá en permeable por su precio obtenido en el apartado 6.3.1.

$$X41 = 6600 \text{ m}^2 * 503.64 \frac{\$}{\text{m}^2} = \$ 3\,324\,024,00$$

Criterio 2 - Coste de mantenimiento anual

Los costes de mantenimiento anual asociados a cada una de las alternativas son los que siguen a continuación.

- Alternativa 1

El coste de mantenimiento es el precio obtenido en el apartado 6.3.1 multiplicado por el área del parque que se convertirá en permeable.

$$X21 = 6000 \text{ m}^2 * 186.59 \frac{\$}{\text{m}^2} = \$ 1\,119\,540,00$$

- Alternativa 2

El coste de mantenimiento son los precios obtenidos en el apartado 6.3.1 tanto para el pavimento permeable de la plaza de la Catedral como el de la cubierta verde del Palacio Municipal multiplicados por sus correspondientes áreas.

$$X22 = 680 \text{ m}^2 * 204.96 \frac{\$}{\text{m}^2} + 2270 \text{ m}^2 * 186.59 \frac{\$}{\text{m}^2} = \$ 562\,932,10$$

- Alternativa 3

$$X23 = 4 * 20 \text{ m} * 7.29 \frac{\$}{\text{m}} + 3000 \text{ m}^2 * 186.59 \frac{\$}{\text{m}^2} = \$ 560\,353,20$$

- Alternativa 4

$$X24 = 6600 \text{ m}^2 * 186.59 \frac{\$}{\text{m}^2} = \$ 1\,231\,494,00$$

Criterio 3 - Disminución del agua de escorrentía

Se medirá teniendo en cuenta el porcentaje de retención del sistema de drenaje utilizado multiplicado por el área que ocupa.

Así, el porcentaje de retención para cada una de las alternativas es el que se muestra a continuación.

- Alternativa 1

$$X31 = \frac{100}{100} * 6000 \text{ m}^2 = 6000 \text{ m}^2$$

- Alternativa 2

$$X32 = \frac{100}{100} * 2270 \text{ m}^2 + \frac{25}{100} * 680 \text{ m}^2 = 2440 \text{ m}^2$$

- Alternativa 3

$$X33 = \frac{100}{100} * 3000 \text{ m}^2 + \frac{150}{100} * 40 \text{ m}^2 = 3060 \text{ m}^2$$

- Alternativa 4

$$X34 = \frac{100}{100} * 6600 \text{ m}^2 = 6600 \text{ m}^2$$

Criterio 4 - Disminución de contaminantes

El pavimento permeable y las zanjas filtrantes tienen una reducción de contaminantes representada por un valor de 2, mientras que las cubiertas verdes tienen una disminución de contaminantes mayor, representada por un valor de 3. Para tener en cuenta qué alternativa reduce más contaminantes del agua se considerará el área de cada SUDS, que se multiplicará por los valores anteriores, obtenidos del "SUDS manual" (Wood-Ballard, y otros, 2007)

La valoración correspondiente a la disminución de contaminantes en cada alternativa es la calculada a continuación.

- Alternativa 1

$$X41 = 2 \frac{\text{puntos}}{m^2} * 6000 m^2 = 12000 \text{ puntos}$$

- Alternativa 2

$$X42 = 2 \frac{\text{puntos}}{m^2} * 2270 m^2 + 3 \text{ puntos} * 680 m^2 = 6580 \text{ puntos}$$

- Alternativa 3

$$X43 = 2 \frac{\text{puntos}}{m^2} * 3000 m^2 + 2 \text{ puntos} * 40 m^2 = 6080 \text{ puntos}$$

- Alternativa 4

$$X44 = 2 \frac{\text{puntos}}{m^2} * 6600 m^2 = 13200 \text{ puntos}$$

Criterio 5 - Potencial creación de hábitat

- Alternativa 1

En el parque 21 de Mayo se mantendrán las áreas vegetadas existentes por lo que no se contempla ninguna mejora en cuanto al potencial creación de hábitat mediante una absorción extra de CO₂.

$$X51 = 0 m^2$$

- Alternativa 2

La superficie correspondiente a la plaza perteneciente a la catedral no tendrá nuevas áreas vegetadas pero la superficie de cubierta verde que se instalará en la azotea del palacio municipal será por completo un área vegetada nueva, por lo

que se contemplará esta área para el análisis comparativo entre alternativas como indicador de la absorción de CO₂.

$$X52 = 680 \text{ m}^2$$

- Alternativa 3

La superficie permeable que se instalará en el parque San José mantendrá sus áreas verdes por lo que no se contempla absorción extra de CO₂. Las zanjas filtrantes que se instalarán tampoco constan de vegetación adicional.

$$X53 = 0 \text{ m}^2$$

- Alternativa 4

El firme permeable instalado en el tramo del Boulevard Fortín-Córdoba no constará de nuevas áreas vegetadas por lo que no habrá absorción extra de CO₂.

$$X54 = 0 \text{ m}^2$$

Una vez calculadas las valoraciones de las alternativas para cada uno de los criterios, es posible presentar la matriz de decisión:

	Criterio 1	Criterio 2	Criterio 3	Criterio 4	Criterio 5
Alternativa 1	2 342 160,00	1 119 540,00	6 000	12 000	0
Alternativa 2	1 219 306,60	562 932,10	2 440	6 580	680
Alternativa 3	1 181 349,08	560 353,20	3 060	6 080	0
Alternativa 4	3 324 024,00	1 231 494,00	6 600	13 200	0

Tabla 52-Matriz de decisión. Elaboración propia

Normalizamos la matriz mediante la normalización por el rango de las magnitudes con las siguientes fórmulas que distinguen entre criterios a maximizar y criterios a minimizar.

Los criterios 3, 4 y 5 son criterios para maximizar ya que la disminución del agua de escorrentía, la disminución de contaminantes y la potencial creación de hábitat son criterios positivos a la hora de evaluar las alternativas.

$$X_{ij} \text{ normalizado} = \frac{X_{ij} - X_{\min} (\text{del criterio } j)}{X_{\max} - X_{\min} (\text{del criterio } j)}$$

Sin embargo, los criterios 1 y 2 que se corresponden a los costes de ejecución y mantenimiento son criterios que se deben minimizar ya que son negativos a la hora de comparar las alternativas.

$$X_{ij} \text{ normalizado} = \frac{X_{\max} (\text{del criterio } j) - X_{ij}}{X_{\max} - X_{\min} (\text{del criterio } j)}$$

	Criterio 1	Criterio 2	Criterio 3	Criterio 4	Criterio 5
Alternativa 1	2342160,0	1119540,0	6000	12000	0
Alternativa 2	1219306,6	562932,1	2440	6580	680
Alternativa 3	1181349,1	560353,2	3060	6080	0
Alternativa 4	3324024,0	1231494,0	6600	13200	0
Xmin	1181349,1	560353,2	2440	6080	0
Xmax	3324024,0	1231494,0	6600	13200	680
Xmax-Xmin	2142674,9	671140,8	4160	7120	680

Tabla 53- Matriz de decisión. Elaboración propia

Resultando la siguiente tabla normalizada:

	Criterio 1	Criterio 2	Criterio 3	Criterio 4	Criterio 5
Alternativa 1	0,458	0,167	0,856	0,831	0,000
Alternativa 2	0,982	0,996	0,000	0,070	1,000
Alternativa 3	1,000	1,000	0,149	0,000	0,000
Alternativa 4	0,000	0,000	1,000	1,000	0,000

Tabla 54- Matriz de decisión normalizada. Elaboración propia

Con la siguiente fórmula calculamos la desviación estándar de cada criterio utilizando los datos normalizados

$$S_j = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_{ij} - \bar{X}_j)^2}{n - 1}} \quad \bar{X}_j = \frac{\sum_{i=1}^n X_{ij}}{n}$$

	Criterio 1	Criterio 2	Criterio 3	Criterio 4	Criterio 5
Alternativa 1	0,458	0,167	0,856	0,831	0,000
Alternativa 2	0,982	0,996	0,000	0,070	1,000
Alternativa 3	1,000	1,000	0,149	0,000	0,000
Alternativa 4	0,000	0,000	1,000	1,000	0,000
Xj	0,610	0,541	0,501	0,475	0,250
Sj	0,478	0,532	0,500	0,514	0,500

Tabla 55- Matriz de decisión normalizada con desviación estándar. Elaboración propia

Tras calcular los coeficientes de correlación utilizando las fórmulas explicadas en el apartado 3.3.4 obtenemos las tablas cov (j,k) y r(j,k)

$$r_{jk} = \frac{cov(j,k)}{S_j * S_k}$$

$$cov(j,k) = \frac{\sum_{i=1}^m (X_{ij} * X_{ik})}{m} - \overline{X_j} * \overline{X_k}$$

Donde m es igual al número de criterios

cov (j,k)	Criterio 1	Criterio 2	Criterio 3	Criterio 4	Criterio 5
Criterio 1	1,000				
Criterio 2	0,081	1,000			
Criterio 3	-0,198	-0,213	1,000		
Criterio 4	-0,200	-0,215	0,104	1,000	
Criterio 5	0,044	0,064	-0,125	-0,105	1,000

Tabla 56- Matriz de cov entre criterios. Elaboración propia

r (j,k)	Criterio 1	Criterio 2	Criterio 3	Criterio 4	Criterio 5
Criterio 1	1,000				
Criterio 2	0,318	1,000			
Criterio 3	-0,827	-0,799	1,000		
Criterio 4	-0,814	-0,787	0,405	1,000	
Criterio 5	0,184	0,241	-0,501	-0,408	1,000

Tabla 57- Matriz de correlación entre criterios. Elaboración propia

Con la siguiente fórmula obtenemos los pesos para cada criterio y después los ponderamos para que entre todos sumen el 100%.

$$w_j = S_j * \sum_{k=1}^m (1 - rkj) \quad W_j \text{ ponderada} = \frac{w_j}{\sum_{j=1}^m w_j} \quad \sum_{j=1}^m W_j = 13,0697188$$

	Wj		Wj ponderada
Criterio 1	2,45696831	Criterio 1	0,188
Criterio 2	2,67669031	Criterio 2	0,205
Criterio 3	2,8137367	Criterio 3	0,215
Criterio 4	2,87986114	Criterio 4	0,220
Criterio 5	2,24246234	Criterio 5	0,172

Los pesos obtenidos para los criterios son muy parecidos entre sí, el mayor peso es del 22% y corresponde a la disminución del agua de escorrentía mientras que el menor peso es solo del 17,2% y corresponde a la disminución de contaminantes. El resto de los criterios tienen valores intermedios entre estos dos.

6.5 Valoración de las alternativas

Una vez obtenidos los pesos, para valorar las alternativas y elegir la más conveniente se utilizará el método TOPSIS. A diferencia del estudio general previo de los SUDS (capítulo 4) en el que se utilizaron otros métodos con datos más cualitativos, en este caso se parte de datos cuantitativos obtenidos cuidadosamente para cada alternativa,

Formamos la matriz de decisión con los pesos (W) de cada criterio y la normalizamos mediante normalización vectorial

Pesos	0,18798938	0,20480091	0,21528671	0,22034607	0,17157694
	Criterio 1	Criterio 2	Criterio 3	Criterio 4	Criterio 5
Alternativa 1	2342160	1119540	6000	12000	0
Alternativa 2	1219306,6	562932,1	2440	6580	680
Alternativa 3	1181349,1	560353,2	3060	6080	0
Alternativa 4	3324024	1231494	6600	13200	0

Tabla 58- Matriz de decisión con pesos del caso particular. Elaboración propia

$$n_{ij} = \frac{X_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (X_{ij})^2}}$$

Donde X_{ij} son los elementos que forman la matriz y n es el número de alternativas

Pesos	0,18798938	0,20480091	0,21528671	0,22034607	0,17157694
	Criterio 1	Criterio 2	Criterio 3	Criterio 4	Criterio 5
Alternativa 1	0,53152524	0,60708122	0,61598526	0,60112606	0
Alternativa 2	0,27670707	0,30525529	0,25050067	0,32961746	1,00000000
Alternativa 3	0,26809307	0,30385686	0,31415248	0,30457054	0
Alternativa 4	0,75434755	0,66778934	0,67758379	0,66123867	0

Tabla 59- Matriz de decisión normalizada con pesos del caso particular. Elaboración propia

Tras la normalización se multiplica la nueva matriz ya normalizada por su correspondiente peso y calculamos las distancias PIS y NIS.

Pesos	0,18798938	0,20480091	0,21528671	0,22034607	0,17157694
	Criterio 1	Criterio 2	Criterio 3	Criterio 4	Criterio 5
Alternativa 1	0,0999211	0,12433079	0,13261344	0,13245577	0
Alternativa 2	0,05201799	0,06251656	0,05392947	0,07262991	0,17157694
Alternativa 3	0,05039865	0,06223016	0,06763285	0,06711092	0
Alternativa 4	0,14180933	0,13676387	0,14587478	0,14570134	0

Tabla 60- Matriz de decisión normalizada multiplicada por sus pesos del caso particular. Elaboración propia

$$dist. PIS = \sqrt{\sum_{j=1}^m (X_{ij} - PIS_j)^2} \quad dist. NIS = \sqrt{\sum_{j=1}^m (X_{ij} - NIS_j)^2}$$

Donde m es el número de criterios

Pesos	0,18798938	0,20480091	0,21528671	0,22034607	0,17157694
	Criterio 1	Criterio 2	Criterio 3	Criterio 4	Criterio 5
Alternativa 1	0,0999211	0,12433079	0,13261344	0,13245577	0
Alternativa 2	0,05201799	0,06251656	0,05392947	0,07262991	0,17157694
Alternativa 3	0,05039865	0,06223016	0,06763285	0,06711092	0
Alternativa 4	0,14180933	0,13676387	0,14587478	0,14570134	0
PIS	0,05039865	0,06223016	0,14587478	0,14570134	0,17157694
NIS	0,14180933	0,13676387	0,05392947	0,06711092	0

Tabla 61- Matriz de decisión con distancias PIS y NIS del caso particular. Elaboración propia

	dis PIS	dist NIS
Alternativa 1	0,18999715	0,11122195
Alternativa 2	0,11745671	0,20747109
Alternativa 3	0,20429611	0,11873908
Alternativa 4	0,20820622	0,12095617

Para finalizar calculamos la proximidad relativa a la solución ideal y ordenamos los resultados en orden decreciente, así, los resultados estarán ordenados de mejor a peor, ya que la mejor alternativa es la que más se aproxima a 1.

$$Ri = \frac{Dist\ NISi}{Dist\ PISi + Dist\ NISi}$$

	dis PIS	dist NIS	Ri
Alternativa 1	0,18999715	0,11122195	0,36923937
Alternativa 2	0,11745671	0,20747109	0,63851442
Alternativa 3	0,20429611	0,11873908	0,3675732
Alternativa 4	0,20820622	0,12095617	0,36746656

Alternativa 2	0,639
Alternativa 1	0,369
Alternativa 3	0,368
Alternativa 4	0,367

Por tanto, la mejor alternativa entre las 4 planteadas es la alternativa 2 la cual se corresponde a la modificación de la azotea del Palacio Municipal convirtiéndolo en una cubierta verde y en la modificación del pavimento de la plaza de la Catedral para que ésta sea de tipo permeable.

6.6 Selección final

Recapitulando, en primer lugar, se ha utilizado el método multicriterio para elegir los mejores SUDS para utilizar en países empobrecidos, con esta clasificación se han elaborado alternativas concretas para la ciudad de Córdoba y se ha hecho otro estudio multicriterio para elegir la mejor alternativa.

Esta selección previa de SUDS para elaborar las alternativas ha contado con la colaboración de expertos en este tipo de drenaje mediante encuestas, analizadas utilizando el método AHP (Analytic Hierarchy Process) para ponderar los criterios seleccionados para este tipo de países. Posteriormente se han comparado los métodos TOPSIS, SAW y WASPAS para obtener los SUDS más adecuados para elaborar las diferentes alternativas en países empobrecidos.

Planteadas cuatro alternativas para un caso real en la ciudad de Córdoba (México) se ha empleado el método CRITIC (Criteria Importance Through intercriteria correlation) para calcular el peso de cada criterio de selección de alternativas y el método TOPSIS (Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution) para la valoración de la mejor alternativa, que resultó ser la alternativa 2.

Esta alternativa contempla la creación de una cubierta verde que se instalará en la azotea del Palacio Municipal aprovechando los 680 m² de cubierta horizontal de la que dispone. También se modificará el firme correspondiente a la plaza perteneciente a la Catedral sustituyendo sus 2270 m² por un firme permeable, recogiendo también parte del agua precipitada desde el parque 21 de mayo, aprovechando la pendiente longitudinal existente desde el parque hasta esta plaza que se ubica contigua.

El presupuesto necesario para llevar a cabo estas mejoras es de \$ 1 219 303,60, con un mantenimiento anual de \$ 562 932,10. Se prevé que la disminución del agua de escorrentía sea la equivalente a la generada en 2440 m² impermeables, y que la absorción extra de CO₂ causada por la nueva área vegetada de la cubierta transformada en verde aumente el potencial de creación de hábitat.

7 Conclusiones

Los sistemas de drenaje urbano sostenible (SUDS) intentan solventar la problemática de la creciente impermeabilización de las superficies del terreno. Entre otros beneficios, logran reducir la cantidad de agua que llega a los colectores y permitir una infiltración natural, lo que es beneficioso para la recarga de acuíferos. También intentan mejorar la calidad del agua mediante la filtración de esta, constituyendo soluciones basadas en la naturaleza. Además, supone una mejora paisajística añadiendo un valor extra a las zonas en las que se implementa.

Por otra parte, los métodos multicriterio para la toma de decisiones cada vez son más utilizados, dado que con ellos podemos analizar alternativas sin que influya la opinión del decisor. Primero se definen los criterios que se van a contemplar y se elige el método de ponderación de criterios. Si bien existen muchos métodos, algunos son más apropiados que otros cuando los datos son cualitativos o cuantitativos. Después se elaboran las diferentes alternativas que van a compararse y se elige el método de análisis. Al no existir un consenso sobre la mejor metodología ni para la ponderación de criterios ni para la valoración de las alternativas, se recomienda que en la fase más importante del estudio se utilicen diferentes métodos, de forma que la obtención de resultados semejantes supondría una mayor fiabilidad de los resultados obtenidos. Así se ha hecho en este proyecto con la selección general de SUDS para países empobrecidos.

En el caso de estudio de este trabajo se han definido ciertas alternativas utilizando los SUDS que resultaron mejor valorados. Para determinar los pesos de los criterios de este estudio previo se empleó la técnica AHP (Analytic Hierarchy Process), basada en la comparación por pares de las valoraciones de expertos en este tipo de sistemas de drenaje. Posteriormente se analizó el catálogo de SUDS teniendo en cuenta los pesos de los criterios obtenidos utilizando los métodos TOPSIS, SAW y WASPAS. El resultado fue que los mejores SUDS para países empobrecidos eran las cunetas verdes, los depósitos de infiltración, las zanjas de infiltración, los pavimentos permeables y las cubiertas verdes.

Una vez definido el caso particular en Córdoba (México) se determinó cuidadosamente la matriz de decisión a partir de las valoraciones de las alternativas para cada criterio. Este paso fue sumamente importante ya que, de haber errores, el resultado del análisis no sería el buscado independientemente del método elegido, por lo que se seleccionaron dos de las metodologías más completas. El método CRITIC (Criteria Importance Through intercriteria correlation) se empleó para ponderar los diferentes criterios y el análisis final de las alternativas se realizó con el método TOPSIS (Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution). No se utilizaron ni los criterios ni los pesos obtenidos en el primer análisis del catálogo de SUDS, ya que para este caso particular se comparaban alternativas reales a partir de criterios específicos para selección de alternativas en el caso particular de la ciudad de Córdoba.

Tras la realización de este trabajo he llegado a la conclusión de que la principal diferencia entre el estudio realizado para la selección de los sistemas de drenaje urbano sostenible en países empobrecidos con respecto al que hubiese resultado de hacer este estudio en

un país rico está en la ponderación de los criterios. Así, considero que los criterios a analizar serían los mismos, pero indudablemente se obtendrían pesos diferentes. Un país rico puede optar por hacer un gasto superior para obtener mejores resultados ambientales o sociales, pero un país empobrecido está más limitado en cuanto al coste, no solo de ejecución sino también de mantenimiento, dependiendo también de los materiales disponibles en las zonas cercanas y de la disponibilidad de personal cualificado. Esto habría llevado a que desde el principio los SUDS obtenidos para realizar las alternativas serían probablemente distintos (más complejos en los países ricos), pero incluso aunque obtuviésemos los mismos SUDS, y por lo tanto analizásemos las mismas alternativas, la matriz de decisión sería distinta, ya que algunos criterios como los costes cambiarían al depender del país y la zona de ubicación. Por lo tanto, no es posible generalizar decisiones técnicas que deben ser reevaluadas para cada caso particular, especialmente en los países empobrecidos.

8 Referencias

- Abellán, Ana. 2016.** Sudsostenible. *Sudsostenible*. [En línea] 2016. <http://sudsostenible.com/sobre-sud-sostenible/>.
- Ambiente, Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del. 2003.** *Especificaciones técnicas para el diseño de zanjas filtro y filtros subsuperficiales de arena*. s.l. : Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación, 2003.
- Arribas Giner, Pablo, y otros. 2011.** *Casos prácticos de proyectos de infraestructuras en cooperación al desarrollo; cuadernos de cooperación al desarrollo Núm. 3*. s.l. : Universitat Politècnica de Valencia, 2011.
- Aznar Bellver, Jerónimo y Guijarro Martínez, Francisco. 2012.** *Nuevos métodos de valoración, modelos multicriterio 2ª edición*. s.l. : Universitat politècnica de Valencia, 2012.
- Bautista, Francisco, y otros. 1998.** Scielo. *Traxco*. [En línea] 1998. <http://www.scielo.org.mx/pdf/igeo/n36/n36a6.pdf>.
- Boullosa, Nicolás. 2010.** Tecnología apropiada: "enseñar a pescar" y diseño ecológico. *Fair companies*. [En línea] 2010.
- Buronoticias. 2017.** México, paraíso megadiverso de las crasuláceas o "siempre vivas". 2017.
- C.V., Concreto ecológico de México S.A. de. 2021.** Studylib ficha técnica hidrocreto. *Studylib*. [En línea] 2021. <https://studylib.es/doc/8789240/ficha-t%C3%A9cnica-hidrocreto>.
- cidta.usal. 2021.** cidta.usal Diseño de zanjas y pozos filtrantes. *cidta.usal*. [En línea] 2021. https://cidta.usal.es/cursos/simulacion/modulos/curso/uni_04/u4c3s2.htm.
- Concreto ecológico de México S.A. de C.V. Concreto ecológico de México S.A. de C.V. Concreto ecológico de México S.A. de C.V. [En línea]** <http://www.concretopermeable.com/>.
- Cortés Sosa, Karen Aurora. 2019.** *Análisis del comportamiento térmico, beneficios y costos, de dos tipos de techos verdes en sistemas modulares, en Poza Rica, Veracruz*. . s.l. : Universidad Veracruzana; Facultad de ciencias biológicas y agropecuarias., 2019.
- CYPE, Ingenieros SA. 2021.** México generador de precios. *México generador de precios*. [En línea] 2021. http://www.mexico.generadordeprecios.info/obra_nueva/calculaprecio.asp?Valor=0|0_0_0_0|2|ASD010|asd_tubo%20zanja_010:_0_2_0_0_0_0_2_0|asd_010%20zanja_010:_0_1_0_0_0_0_0.
- Delgado Peralta, Martha. 2008.** NORMA AMBIENTAL PARA EL DISTRITO FEDERAL NADF-013-RNAT-2007. *Gaceta oficial del distrito federal*. s.l. : Órgano del Gobierno del Distrito Federal, 2008.
- Ebrad Casaubón, Marcel Luis. 2000.** cgservicios. *Construcción e instalaciones. Obra civil en urbanización*. [En línea] 2000. <http://cgservicios.df.gob.mx/prontuario/vigente/r314501.pdf>.
- Ehrgott, Matthias. 2019.** International Society on MCDM. *International Society on MCDM*. [En línea] 2019. <https://www.mcdmsociety.org/content/software-related-mcdm>.
- Estrada García, José Martín. 2002.** *Entropía, asignación de pesos no subjetivos, para la valoración*. 2002.

Garza Ríos, Rosario. 2021. Monografias.com. *Técnicas multicriteriales para la toma de decisiones empresariales*. [En línea] 2021. <https://www.monografias.com/trabajos14/toma-decisiones/toma-decisiones.shtml>.

Group, Tecno. 2021. analisis de precios unitarios. *analisis de precios unitarios*. [En línea] Tecno Group, 2021. <https:// analisisdepreciosunitarios.com/construccion-14207>.

Gustavo Rosatto, Héctor, y otros. 2013. *Eficiencia en la retención del agua de lluvia de cubiertas vegetadas de tipo "extensivo e "intensivo"*. s.l. : Researchgate, 2013.

Hashemkhani Zolfani, Sarfaraz, y otros. 2020. *Application of a gray-based decision support framework for location selection of a temporary hospital during COVID-19 pandemic*. s.l. : Symmetry MDPI, 2020.

Hwang, Ching-Lai y Yoon, Kwangsun. 1981. *Multiple attribute Decision Making*. s.l. : Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York, 1981.

Hwang, Shu-Jen ChenChing-Lai. 1992. *Toma de decisiones difusa de atributos múltiples*. s.l. : Springer, 1992.

iagua. 2019. La gestión del agua en los países más pobres, comprometida por la falta financiación. *iagua.es*. [En línea] iagua, 2019. La gestión del agua en los países más pobres, comprometida por la falta financiación.

Julio Vidal, Carlos, y otros. 2012. *Guía metodológica para la priorización de proyectos: un enfoque aplicado a la infraestructura, la logística y la conectividad*. s.l. : Sello editorial Javeirano, Cali, 2012.

Kazimieras Zavadskas, Edmundas, y otros. 2012. *Optimization of Weighted Aggregated Sum Product Assessment*. s.l. : Technical University, 2012.

Luciano Ferreira, Denis borenstein, Everton Santi. 2016. Hybrid fuzzy MADM ranking procedure for better alternative discrimination. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*. s.l. : Elsevier, 2016, págs. 71-82.

Luis Angel Sañudo-Fontaneda, Daniel Castro-Fresno, Jorge Rodriguez-Hernandez. 2012. *Diseño y construcción de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS)*. s.l. : School of Civil Engineering of the Universidad de Cantabria, 2012.

Mayor, Julián, Botero, Sergio, & González-Ruiz, Juan David. 2016. Obras y proyectos. *Obras y proyectos*. [En línea] 2016. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-28132016000200005>.

Merkel, Alexander. 2020. Climate-data.org. *Climate-data.org*. [En línea] AM Online Projects, 2020. <https://es.climate-data.org/>.

México, Gobierno de. 2020. Conagua. *Conagua*. [En línea] 2020. www.conagua.gob.mx.

México, Gobierno de la ciudad de. 2020. *Precios unitarios para realizar estudios de ajuste de costos del mes de enero 2020 respecto del tabulador 2019 según los artículos 54 de la Ley de obras públicas del Distrito Federal y el artículo 65 de su reglamento*. s.l. : Dirección de ingeniería de costos, Normas y Registros de obra pública, 2020.

México, Gobierno de. 1997. NOM-006-CNA-1997. *Norma oficial mexicana, Fosas sépticas prefabricadas-Especificaciones y métodos de prueba*. 1997.

Miguel, Cruz Antonio. 2010. *Gestión tecnológica hospitalaria: Un enfoque sistémico*. s.l. : Editorial Universidad del Rosario, 2010.

- Munier, Nolberto, y otros. 2010.** *Selección de proyectos o alternativas*. Madrid : Universidad politécnica de Valencia, 2010.
- Opricovic, S. y Tzeng, G. 2004.** Compromise solution by MCDM Methods: A comparative Analysis of VIKOR and TOPSIS. s.l. : European Journal of Operational Research, 2004, Vol. Elseiver vol.156.
- Pavimentos urbanos permeables. Daniel Jato-Espino, Jorge Rodriguez-Hernandez, Valerio C. Andrés-Valeri, Daniel Castro-Fresno. 2019.** 2019, Revista de Obras Públicas.
- planeación, Secretaria de finanzas y. 2018.** *Sistema de información municipal*. s.l. : Seriplan , 2018. Cuadernillos municipales 2018.
- Pugh, Stuart. 1991.** *Total design: integrated methods for successful product engineering*. s.l. : Addison-Wesley, 1991.
- Rodriguez Hernandez, Jorge. 2008.** *ESTUDIO, ANÁLISIS Y DISEÑO DE SECCIONES PERMEABLES DE FIRMES PARA VÍAS URBANAS CON UN COMPORTAMIENTO ADECUADO FRENTE A LA COLMATACIÓN Y CON LA CAPACIDAD PORTANTE NECESARIA PARA SOPORTAR TRÁFICOS IGEROS*. s.l. : Universidad de Cantabria, 2008.
- Saaty, Thomas I. 2000.** *Fundamentals of Decision Making and Priority Theory*. s.l. : RWS Publications, 2000.
- Sañudo-Fontaneda, Luis Ángel, Rodriguez Hernandez, Jorge y Castro-Fresno, Daniel. 2012.** *Diseño y Construcción de Sistemas de Drenaje Sostenible (SUDS)*. s.l. : Universidad de Cantabria, 2012.
- Shaffer, Paul. 2021.** Susdrain.org. [En línea] CIRIA, 2021. <https://www.susdrain.org/delivering-suds/using-suds/suds-components/filtration/bioretention-areas.html>.
- Steuer, Gardiner y Gray. 1996.** *A bibliographic survey of the activities and international nature of multiple criteria decision making*. s.l. : The decision maker and the analyst in MCDA, 1996. Vol. 5.
- Sustainable Drainage Systems (SUDS). Rodriguez-Hernandez, Jorge, y otros. 2005.* 2005, Interciencia.
- Unam. 2019.** Evaluación de costos de los pavimentos tradicionales vs concreto hidráulico permeable. *Ptolomeo*. [En línea] 2019. <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/529/A9.pdf?sequence=9>.
- Wood-Ballard, y otros. 2007.** *The SUDS manual*. s.l. : Ciria, 2007.
- Yepes Piqueras, Víctor. 2018.** *Proceso analítico jerárquico (Analytic Hierarchy Process, AHP)*. s.l. : Universitat Politècnica de Valencia, 2018.

ANEXO 1

4.2 PONDERACIÓN DE LOS CRITERIOS

La siguiente tabla muestra la escala Saaty, la cual utilizarán los expertos para puntuar los criterios en la comparación por pares de la encuesta.

<p>* Los datos proporcionados permitirán, mediante el método AHP (Analytic Hierarchy Process), definir los pesos de los criterios que permitirán posteriormente seleccionar los SUDS (sistemas de drenaje urbano sostenible) más convenientes para su aplicación en PAÍSES EMPOBRECIDOS en el marco de un Trabajo Fin de Grado en Ingeniería Civil de la Universidad de Cantabria.</p> <p>Esta metodología emplea la escala Saaty para comparar la importancia de un criterio con respecto a otro.</p>		
	Criterio i más importante	Criterio j más importante
Escala	Puntuación numérica	Puntuación recíproca
Importancia extrema	9	01-sep
Importancia muy grande	7	01-jul
Importancia grande	5	01-may
Importancia moderada	3	01-mar
Importancia similar	1	1
<p>Ej. Marcar 1/9 en la segunda pregunta significa que el Coste de ejecución (criterio j) es extremadamente más importante que la Disminución del agua de escorrentía (criterio i). Por su parte, marcar 1/3 supondría que el Coste de ejecución (criterio j) es solo moderadamente más importante que la Disminución del agua de escorrentía (criterio i) (criterio i).</p>		

Tabla 62- Normas para cumplimentar encuesta- elaboración propia

Estos son los criterios contemplados y cuya comparación se han consultado a los expertos.

- Criterio 1- Disminución del agua de escorrentía
- Criterio 2- Reducción de contaminantes
- Criterio 3- Coste de construcción
- Criterio 4- Coste de mantenimiento
- Criterio 5- Aceptación comunitaria
- Criterio 6- Potencial creación de hábitat

Encuesta de comparación por pares de criterios para países empobrecidos*

Por favor, sombrear en amarillo un valor numérico para cada comparación de criterios.

Comparación del criterio i con respecto al j

Criterio i	Vs	Criterio j	Valor numérico									
Disminución del agua de escorrentía	Vs	Reducción de contaminantes	1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9	
Disminución del agua de escorrentía	Vs	Coste de ejecución	1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9	
Disminución del agua de escorrentía	Vs	Coste de mantenimiento	1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9	
Disminución del agua de escorrentía	Vs	Aceptación comunitaria	1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9	
Disminución del agua de escorrentía	Vs	Potencial creación de hábitat	1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9	
Reducción de contaminantes	Vs	Coste de ejecución	1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9	
Reducción de contaminantes	Vs	Coste de mantenimiento	1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9	
Reducción de contaminantes	Vs	Aceptación comunitaria	1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9	
Reducción de contaminantes	Vs	Potencial creación de hábitat	1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9	
Coste de ejecución	Vs	Coste de mantenimiento	1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9	
Coste de ejecución	Vs	Aceptación comunitaria	1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9	
Coste de ejecución	Vs	Potencial creación de hábitat	1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9	
Coste de mantenimiento	Vs	Aceptación comunitaria	1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9	
Coste de mantenimiento	Vs	Potencial creación de hábitat	1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9	
Aceptación comunitaria	Vs	Potencial creación de hábitat	1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9	

Tabla 63- Modelo de encuesta- elaboración propia

Encuesta 1

Encuesta de comparación por pares de criterios para países empobrecidos*

Por favor, sombrear en amarillo un valor numérico para cada comparación de criterios.

Comparación del criterio i con respecto al j

Criterio i	Vs	Criterio j	Valor numérico									
Disminución del agua de escorrentía	Vs	Reducción de contaminantes	1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9	
Disminución del agua de escorrentía	Vs	Coste de ejecución	1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9	
Disminución del agua de escorrentía	Vs	Coste de mantenimiento	1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9	
Disminución del agua de escorrentía	Vs	Aceptación comunitaria	1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9	
Disminución del agua de escorrentía	Vs	Potencial creación de hábitat	1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9	
Reducción de contaminantes	Vs	Coste de ejecución	1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9	
Reducción de contaminantes	Vs	Coste de mantenimiento	1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9	
Reducción de contaminantes	Vs	Aceptación comunitaria	1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9	
Reducción de contaminantes	Vs	Potencial creación de hábitat	1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9	
Coste de ejecución	Vs	Coste de mantenimiento	1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9	
Coste de ejecución	Vs	Aceptación comunitaria	1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9	
Coste de ejecución	Vs	Potencial creación de hábitat	1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9	
Coste de mantenimiento	Vs	Aceptación comunitaria	1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9	
Coste de mantenimiento	Vs	Potencial creación de hábitat	1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9	
Aceptación comunitaria	Vs	Potencial creación de hábitat	1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9	

Matriz de comparación entre criterios- Escala Saaty:

	Criterio 1	Criterio 2	Criterio 3	Criterio 4	Criterio 5	Criterio 6
Criterio 1	1,0000	5,0000	5,0000	7,0000	3,0000	9,0000
Criterio 2	0,2000	1,0000	0,2000	0,1111	0,3333	5,0000
Criterio 3	0,2000	5,0000	1,0000	5,0000	7,0000	9,0000
Criterio 4	0,1429	9,0000	0,2000	1,0000	1,0000	7,0000
Criterio 5	0,3333	3,0000	0,1429	1,0000	1,0000	7,0000
Criterio 6	0,1111	0,2000	0,1111	0,1429	0,1429	1,0000
SUMA	1,9873	23,2000	6,6540	14,2540	12,4762	38,0000

Normalizando por la suma obtenemos la siguiente tabla:

$$X_{jk} \text{ normalizado} = \frac{X_{jk}}{\sum_{k=1}^m X_{jk}}$$

Obtenemos los pesos calculando el vector de prioridad mediante la media aritmética de cada fila de la tabla normalizada.

$$W_j = \frac{\sum_{j=1}^m X_{jk}}{m}$$

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	SUMA	PESO
C1	0,5032	0,2155	0,7514	0,4911	0,2405	0,2368	2,4385304	0,40642173
C2	0,1006	0,0431	0,0301	0,0078	0,0267	0,1316	0,33988773	0,05664796
C3	0,1006	0,2155	0,1503	0,3508	0,5611	0,2368	1,61513095	0,26918849
C4	0,0719	0,3879	0,0301	0,0702	0,0802	0,1842	0,82441363	0,13740227
C5	0,1677	0,1293	0,0215	0,0702	0,0802	0,1842	0,65302002	0,10883667
C6	0,0559	0,0086	0,0167	0,0100	0,0115	0,0263	0,12901726	0,02150288

Se calcula la consistencia de la matriz para poder dar por validos los pesos calculados.

$$RC = \frac{IC}{IA} \leq 0.1 \quad IC = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1}$$

n	2	3	4	5	6	7	8	9	10
IA	0	0,58	0,9	1,12	1,24	1,32	1,41	1,25	1,49

Donde n es el número de criterios y λ_{max} es el sumatorio de los valores del vector obtenido al multiplicar la matriz de comparación de criterios sin normalizar por el vector de los pesos obtenidos.

1,0000	5,0000	5,0000	7,0000	3,0000	9,0000		0,40642173		3,5174558
0,2000	1,0000	0,2000	0,1111	0,3333	5,0000		0,05664796		0,35082506
0,2000	5,0000	1,0000	5,0000	7,0000	9,0000		0,26918849		2,2761066
0,1429	9,0000	0,2000	1,0000	1,0000	7,0000	*	0,13740227	=	1,0185061
0,3333	3,0000	0,1429	1,0000	1,0000	7,0000		0,10883667		0,74063038
0,1111	0,2000	0,1111	0,1429	0,1429	1,0000		0,02150288		0,14308031

$$\lambda_{max} = 8,04660408$$

$$n = 6$$

$$IA = 1,24$$

$$IC = 0,40932082$$

$$RC = 0,33009743 > 0,1$$

La matriz es inconsistente por lo que no se aceptan los pesos obtenidos y no se usarán para valorar los distintos SUDS.

	Pesos Wj	Peso (%)
Criterio 1	0,40642	40,642
Criterio 2	0,05665	5,665
Criterio 3	0,26919	26,919
Criterio 4	0,13740	13,740
Criterio 5	0,10884	10,884
Criterio 6	0,02150	2,150

Encuesta 2

Encuesta de comparación por pares de criterios para países empobrecidos*

Por favor, sombrear en amarillo un valor numérico para cada comparación de criterios.

Comparación del criterio i con respecto al j

Criterio i	Vs	Criterio j	Valor numérico									
Disminución del agua de escorrentía	Vs	Reducción de contaminantes	1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9	
Disminución del agua de escorrentía	Vs	Coste de ejecución	1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9	
Disminución del agua de escorrentía	Vs	Coste de mantenimiento	1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9	
Disminución del agua de escorrentía	Vs	Aceptación comunitaria	1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9	
Disminución del agua de escorrentía	Vs	Potencial creación de hábitat	1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9	
Reducción de contaminantes	Vs	Coste de ejecución	1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9	
Reducción de contaminantes	Vs	Coste de mantenimiento	1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9	
Reducción de contaminantes	Vs	Aceptación comunitaria	1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9	
Reducción de contaminantes	Vs	Potencial creación de hábitat	1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9	
Coste de ejecución	Vs	Coste de mantenimiento	1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9	
Coste de ejecución	Vs	Aceptación comunitaria	1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9	
Coste de ejecución	Vs	Potencial creación de hábitat	1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9	
Coste de mantenimiento	Vs	Aceptación comunitaria	1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9	
Coste de mantenimiento	Vs	Potencial creación de hábitat	1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9	
Aceptación comunitaria	Vs	Potencial creación de hábitat	1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9	

Matriz de comparación entre criterios- Escala Saaty:

	C1	C2	C3	C4	C5	C6
C1	1,0000	3,0000	3,0000	3,0000	5,0000	3,0000
C2	0,3333	1,0000	3,0000	3,0000	5,0000	1,0000
C3	0,3333	0,3333	1,0000	1,0000	3,0000	0,3333
C4	0,3333	0,3333	1,0000	1,0000	0,3333	0,3333
C5	0,2000	0,2000	0,3333	3,0000	1,0000	0,3333
C6	0,3333	1,0000	3,0000	3,0000	3,0000	1,0000
SUMA	2,5332	5,8666	11,3333	14,0000	17,3333	5,9999

Normalizando por la suma obtenemos la siguiente tabla:

$$X_{jk} \text{ normalizado} = \frac{X_{jk}}{\sum_{k=1}^m X_{jk}}$$

Obtenemos los pesos calculando el vector de prioridad mediante la media aritmética de cada fila de la tabla normalizada.

$$W_j = \frac{\sum_{j=1}^m X_{jk}}{m}$$

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	SUMA	PESO
C1	0,3948	0,5114	0,2647	0,2143	0,2885	0,5000	2,17358987	0,36226498
C2	0,1006	0,0431	0,0301	0,0078	0,0267	0,1316	1,23615311	0,20602552
C3	0,1006	0,2155	0,1503	0,3508	0,5611	0,2368	0,57667817	0,09611303
C4	0,0719	0,3879	0,0301	0,0702	0,0802	0,1842	0,42282979	0,07047163
C5	0,1677	0,1293	0,0215	0,0702	0,0802	0,1842	0,46998079	0,07833013
C6	0,0559	0,0086	0,0167	0,0100	0,0115	0,0263	1,12076827	0,18679471

Se calcula la consistencia de la matriz para poder dar por validos los pesos calculados.

$$RC = \frac{IC}{IA} \leq 0.1 \quad IC = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1}$$

n	2	3	4	5	6	7	8	9	10
IA	0	0,58	0,9	1,12	1,24	1,32	1,41	1,25	1,49

Donde n es el número de criterios y λ_{max} es el sumatorio de los valores del vector obtenido al multiplicar la matriz de comparación de criterios sin normalizar por el vector de los pesos obtenidos.

1,0000	3,0000	3,0000	3,0000	5,0000	3,0000		0,36226498		2,4321303
0,3333	1,0000	3,0000	3,0000	5,0000	1,0000		0,20602552		1,40496778
0,3333	0,3333	1,0000	1,0000	3,0000	0,3333		0,09611303		0,65324495
0,3333	0,3333	1,0000	1,0000	0,3333	0,3333	*	0,07047163	=	0,44436199
0,2000	0,2000	0,3333	3,0000	1,0000	0,3333		0,07833013		0,49769627
0,3333	1,0000	3,0000	3,0000	3,0000	1,0000		0,18679471		1,24830752

$$\lambda_{max} = 6,68070884$$

$$n = 6$$

$$IA = 1,24$$

$$IC = 0,13614177$$

$$RC = 0,10979175 > 0,1$$

La matriz es solo ligeramente inconsistente ($RC < 0,12$) por lo que, al objeto de disponer una mayor cantidad de datos en este estudio, se aceptan los pesos obtenidos y se usan para valorar los distintos SUDS.

	Pesos Wj	Peso (%)
Criterio 1	0,36226498	36,226
Criterio 2	0,20602552	20,603
Criterio 3	0,09611303	9,611
Criterio 4	0,07047163	7,047
Criterio 5	0,07833013	7,833
Criterio 6	0,18679471	18,679

Encuesta 3

Encuesta de comparación por pares de criterios para países empobrecidos*

Por favor, sombrear en amarillo un valor numérico para cada comparación de criterios.

Comparación del criterio i con respecto al j

Criterio i	Vs	Criterio j	Valor numérico									
Disminución del agua de esorrentía	Vs	Reducción de contaminantes	1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9	
Disminución del agua de esorrentía	Vs	Coste de ejecución	1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9	
Disminución del agua de esorrentía	Vs	Coste de mantenimiento	1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9	
Disminución del agua de esorrentía	Vs	Aceptación comunitaria	1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9	
Disminución del agua de esorrentía	Vs	Potencial creación de hábitat	1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9	
Reducción de contaminantes	Vs	Coste de ejecución	1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9	
Reducción de contaminantes	Vs	Coste de mantenimiento	1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9	
Reducción de contaminantes	Vs	Aceptación comunitaria	1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9	
Reducción de contaminantes	Vs	Potencial creación de hábitat	1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9	
Coste de ejecución	Vs	Coste de mantenimiento	1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9	
Coste de ejecución	Vs	Aceptación comunitaria	1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9	
Coste de ejecución	Vs	Potencial creación de hábitat	1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9	
Coste de mantenimiento	Vs	Aceptación comunitaria	1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9	
Coste de mantenimiento	Vs	Potencial creación de hábitat	1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9	
Aceptación comunitaria	Vs	Potencial creación de hábitat	1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9	

Matriz de comparación entre criterios- Escala Saaty:

	C1	C2	C3	C4	C5	C6
C1	1,0000	5,0000	0,3333	1,0000	0,1429	7,0000
C2	0,2000	1,0000	0,3333	0,2000	0,1429	3,0000
C3	3,0000	3,0000	1,0000	1,0000	0,3333	5,0000
C4	1,0000	5,0000	1,0000	1,0000	0,3333	5,0000
C5	7,0000	7,0000	3,0000	3,0000	1,0000	9,0000
C6	0,1429	0,3333	0,2000	0,2000	0,1111	1,0000
SUMA	12,3429	21,3333	5,8666	6,4000	2,0635	30,0000

Normalizando por la suma obtenemos la siguiente tabla:

$$X_{jk} \text{ normalizado} = \frac{X_{jk}}{\sum_{k=1}^m X_{jk}}$$

Obtenemos los pesos calculando el vector de prioridad mediante la media aritmética de cada fila de la tabla normalizada.

$$W_j = \frac{\sum_{j=1}^m X_{jk}}{m}$$

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	SUMA	PESO
C1	0,0810	0,2344	0,0568	0,1563	0,0693	0,2333	0,83104135	0,13850689
C2	0,0162	0,0469	0,0568	0,0313	0,0693	0,1	0,32039314	0,05339886
C3	0,2431	0,1406	0,1705	0,1563	0,1615	0,1667	1,03857477	0,17309579
C4	0,0810	0,2344	0,1705	0,1563	0,1615	0,1667	0,97028844	0,16171474
C5	0,5671	0,3281	0,5114	0,4688	0,4846	0,3	2,65998614	0,44333102
C6	0,0116	0,0156	0,0341	0,0313	0,0538	0,0333	0,17971616	0,02995269

Se calcula la consistencia de la matriz para poder dar por validos los pesos calculados.

$$RC = \frac{IC}{IA} \leq 0.1 \quad IC = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1}$$

n	2	3	4	5	6	7	8	9	10
IA	0	0,58	0,9	1,12	1,24	1,32	1,41	1,25	1,49

Donde n es el número de criterios y λ_{max} es el sumatorio de los valores del vector obtenido al multiplicar la matriz de comparación de criterios sin normalizar por el vector de los pesos obtenidos.

1,0000	5,0000	0,3333	1,0000	0,1429	7,0000		0,13850689	0,8979296
0,2000	1,0000	0,3333	0,2000	0,1429	3,0000		0,05339886	0,32434609
3,0000	3,0000	1,0000	1,0000	0,3333	5,0000		0,17309579	1,20805348
1,0000	5,0000	1,0000	1,0000	0,3333	5,0000	*	0,16171474	= 1,03783741
7,0000	7,0000	3,0000	3,0000	1,0000	9,0000		0,44333102	3,06067711
0,1429	0,3333	0,2000	0,2000	0,1111	1,0000		0,02995269	0,18375935

$$\lambda_{max} = 6,71260304$$

$$n = 6$$

$$IA = 1,24$$

$$IC = 0,14252061$$

$$RC = 0,11493597 > 0,1$$

La matriz es solo ligeramente inconsistente ($RC < 0,12$) por lo que, al objeto de disponer una mayor cantidad de datos en este estudio, se aceptan los pesos obtenidos y se usan para valorar los distintos SUDS.

	Pesos Wj	Peso (%)
Criterio 1	0,13850689	13,851
Criterio 2	0,05339886	5,340
Criterio 3	0,17309579	17,310
Criterio 4	0,16171474	16,171
Criterio 5	0,44333102	44,333
Criterio 6	0,02995269	2,995

Encuesta 4

Encuesta de comparación por pares de criterios para países empobrecidos*

Por favor, sombrear en amarillo un valor numérico para cada comparación de criterios.

Comparación del criterio i con respecto al j

Criterio i	Vs	Criterio j	Valor numérico									
Disminución del agua de escorrentía	Vs	Reducción de contaminantes	1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9	
Disminución del agua de escorrentía	Vs	Coste de ejecución	1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9	
Disminución del agua de escorrentía	Vs	Coste de mantenimiento	1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9	
Disminución del agua de escorrentía	Vs	Aceptación comunitaria	1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9	
Disminución del agua de escorrentía	Vs	Potencial creación de hábitat	1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9	
Reducción de contaminantes	Vs	Coste de ejecución	1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9	
Reducción de contaminantes	Vs	Coste de mantenimiento	1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9	
Reducción de contaminantes	Vs	Aceptación comunitaria	1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9	
Reducción de contaminantes	Vs	Potencial creación de hábitat	1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9	
Coste de ejecución	Vs	Coste de mantenimiento	1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9	
Coste de ejecución	Vs	Aceptación comunitaria	1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9	
Coste de ejecución	Vs	Potencial creación de hábitat	1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9	
Coste de mantenimiento	Vs	Aceptación comunitaria	1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9	
Coste de mantenimiento	Vs	Potencial creación de hábitat	1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9	
Aceptación comunitaria	Vs	Potencial creación de hábitat	1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9	

Matriz de comparación entre criterios- Escala Saaty:

	C1	C2	C3	C4	C5	C6
C1	1,0000	3,0000	7,0000	7,0000	5,0000	3,0000
C2	0,3333	1,0000	5,0000	5,0000	7,0000	7,0000
C3	0,1429	0,2000	1,0000	1,0000	0,1429	0,1429
C4	0,1429	0,2000	1,0000	1,0000	0,1429	0,1429
C5	0,2000	0,1429	7,0000	7,0000	1,0000	1,0000
C6	0,3333	0,1429	7,0000	7,0000	1,0000	1,0000
SUMA	2,1524	4,6858	28,0000	28,0000	14,2858	12,2858

Normalizando por la suma obtenemos la siguiente tabla:

$$X_{jk} \text{ normalizado} = \frac{X_{jk}}{\sum_{k=1}^m X_{jk}}$$

Obtenemos los pesos calculando el vector de prioridad mediante la media aritmética de cada fila de la tabla normalizada.

$$W_j = \frac{\sum_{j=1}^m X_{jk}}{m}$$

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	SUMA	PESO
C1	0,4646	0,6402	0,2500	0,2500	0,3500	0,2442	2,19901209	0,36650202
C2	0,1549	0,2134	0,1786	0,1786	0,4900	0,5698	1,78516451	0,29752742
C3	0,0664	0,0427	0,0357	0,0357	0,0100	0,0116	0,20213598	0,03368933
C4	0,0664	0,0427	0,0357	0,0357	0,0100	0,0116	0,20213598	0,03368933
C5	0,0929	0,0305	0,2500	0,2500	0,0700	0,0814	0,77481029	0,12913505
C6	0,1549	0,0305	0,2500	0,2500	0,0700	0,0814	0,83674115	0,13945686

Se calcula la consistencia de la matriz para poder dar por validos los pesos calculados.

$$RC = \frac{IC}{IA} \leq 0.1 \quad IC = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1}$$

n	2	3	4	5	6	7	8	9	10
IA	0	0,58	0,9	1,12	1,24	1,32	1,41	1,25	1,49

Donde n es el número de criterios y λ_{max} es el sumatorio de los valores del vector obtenido al multiplicar la matriz de comparación de criterios sin normalizar por el vector de los pesos obtenidos.

1,0000	3,0000	7,0000	7,0000	5,0000	3,0000		0,36650202		2,7947807
0,3333	1,0000	5,0000	5,0000	7,0000	7,0000		0,29752742		2,63671918
0,1429	0,2000	1,0000	1,0000	0,1429	0,1429		0,03368933		0,21763906
0,1429	0,2000	1,0000	1,0000	0,1429	0,1429	*	0,03368933	=	0,21763906
0,2000	0,1429	7,0000	7,0000	1,0000	1,0000		0,12913505		0,85605959
0,3333	0,1429	7,0000	7,0000	1,0000	1,0000		0,13945686		0,90491431

$$\lambda_{max} = 7,6775191$$

$$n = 6$$

$$IA = 1,24$$

$$IC = 0,32555038$$

$$RC = 0,26254063 > 0,1$$

La matriz es inconsistente por lo que no se aceptan los pesos obtenidos y no se usarán para valorar los distintos SUDS.

	Pesos Wj	Peso (%)
Criterio 1	0,36650202	36,650
Criterio 2	0,29752742	29,753
Criterio 3	0,03368933	3,3689
Criterio 4	0,03368933	3,369
Criterio 5	0,12913505	12,914
Criterio 6	0,13945686	13,946

Encuesta 5

Encuesta de comparación por pares de criterios para países empobrecidos*

Por favor, sombrear en amarillo un valor numérico para cada comparación de criterios.

Comparación del criterio i con respecto al j

Criterio i	Vs	Criterio j	Valor numérico									
Disminución del agua de escorrentía	Vs	Reducción de contaminantes	1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9	
Disminución del agua de escorrentía	Vs	Coste de ejecución	1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9	
Disminución del agua de escorrentía	Vs	Coste de mantenimiento	1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9	
Disminución del agua de escorrentía	Vs	Aceptación comunitaria	1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9	
Disminución del agua de escorrentía	Vs	Potencial creación de hábitat	1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9	
Reducción de contaminantes	Vs	Coste de ejecución	1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9	
Reducción de contaminantes	Vs	Coste de mantenimiento	1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9	
Reducción de contaminantes	Vs	Aceptación comunitaria	1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9	
Reducción de contaminantes	Vs	Potencial creación de hábitat	1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9	
Coste de ejecución	Vs	Coste de mantenimiento	1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9	
Coste de ejecución	Vs	Aceptación comunitaria	1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9	
Coste de ejecución	Vs	Potencial creación de hábitat	1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9	
Coste de mantenimiento	Vs	Aceptación comunitaria	1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9	
Coste de mantenimiento	Vs	Potencial creación de hábitat	1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9	
Aceptación comunitaria	Vs	Potencial creación de hábitat	1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9	

Matriz de comparación entre criterios- Escala Saaty:

	C1	C2	C3	C4	C5	C6
C1	1,0000	5,0000	3,0000	3,0000	7,0000	3,0000
C2	0,2000	1,0000	7,0000	3,0000	5,0000	1,0000
C3	0,3333	0,1429	1,0000	0,2000	0,2000	0,2000
C4	0,3333	0,3333	5,0000	1,0000	0,3333	0,3333
C5	0,1429	0,2000	5,0000	3,0000	1,0000	1,0000
C6	0,3333	1,0000	5,0000	3,0000	1,0000	1,0000
SUMA	2,3429	7,6762	26,0000	13,200	14,5333	6,5333

Normalizando por la suma obtenemos la siguiente tabla:

$$X_{jk} \text{ normalizado} = \frac{X_{jk}}{\sum_{k=1}^m X_{jk}}$$

Obtenemos los pesos calculando el vector de prioridad mediante la media aritmética de cada fila de la tabla normalizada.

$$W_j = \frac{\sum_{j=1}^m X_{jk}}{m}$$

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	SUMA	PESO
C1	0,4268	0,65154	0,1154	0,2273	0,4817	0,459	2,36167954	0,39361326
C2	0,0854	0,1303	0,2692	0,2273	0,3440	0,1531	1,20923146	0,20153858
C3	0,1423	0,0186	0,0385	0,0152	0,0138	0,0306	0,25887311	0,04314552
C4	0,1423	0,0434	0,1923	0,0758	0,0229	0,0510	0,52771167	0,08795194
C5	0,0610	0,0261	0,1923	0,2273	0,0688	0,1531	0,72849252	0,12141542
C6	0,1423	0,1303	0,1923	0,2273	0,0688	0,1531	0,9140117	0,15233528

Se calcula la consistencia de la matriz para poder dar por validos los pesos calculados.

$$RC = \frac{IC}{IA} \leq 0.1 \quad IC = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1}$$

n	2	3	4	5	6	7	8	9	10
IA	0	0,58	0,9	1,12	1,24	1,32	1,41	1,25	1,49

Donde n es el número de criterios y λ_{max} es el sumatorio de los valores del vector obtenido al multiplicar la matriz de comparación de criterios sin normalizar por el vector de los pesos obtenidos.

1,0000	5,0000	3,0000	3,0000	7,0000	3,0000		0,39361658		3,10151466
0,2000	1,0000	7,0000	3,0000	5,0000	1,0000		0,20154062		1,6055419
0,3333	0,1429	1,0000	0,2000	0,2000	0,2000		0,04314477		0,27547693
0,3333	0,3333	5,0000	1,0000	0,3333	0,3333	*	0,08794999	=	0,59327994
0,1429	0,2000	5,0000	3,0000	1,0000	1,0000		0,12141665		0,84987779
0,3333	1,0000	5,0000	3,0000	1,0000	1,0000		0,1523314		1,08605488

$$\lambda_{max} = 7,51174611$$

$$n = 6$$

$$IA = 1,24$$

$$IC = 0,30234922$$

$$RC = 0,24383002 > 0,1$$

La matriz es inconsistente por lo que no se aceptan los pesos obtenidos y no se usarán para valorar los distintos SUDS.

	Pesos Wj	Peso (%)
Criterio 1	0,39361658	39,362
Criterio 2	0,20154062	20,154
Criterio 3	0,04314477	4,314
Criterio 4	0,08794999	8,795
Criterio 5	0,12141665	12,142
Criterio 6	0,1523314	15,233

Encuesta 6

Encuesta de comparación por pares de criterios para países empobrecidos*

Por favor, sombrear en amarillo un valor numérico para cada comparación de criterios.

Comparación del criterio i con respecto al j

Criterio i	Vs	Criterio j	Valor numérico									
Disminución del agua de escorrentía	Vs	Reducción de contaminantes	1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9	
Disminución del agua de escorrentía	Vs	Coste de ejecución	1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9	
Disminución del agua de escorrentía	Vs	Coste de mantenimiento	1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9	
Disminución del agua de escorrentía	Vs	Aceptación comunitaria	1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9	
Disminución del agua de escorrentía	Vs	Potencial creación de hábitat	1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9	
Reducción de contaminantes	Vs	Coste de ejecución	1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9	
Reducción de contaminantes	Vs	Coste de mantenimiento	1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9	
Reducción de contaminantes	Vs	Aceptación comunitaria	1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9	
Reducción de contaminantes	Vs	Potencial creación de hábitat	1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9	
Coste de ejecución	Vs	Coste de mantenimiento	1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9	
Coste de ejecución	Vs	Aceptación comunitaria	1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9	
Coste de ejecución	Vs	Potencial creación de hábitat	1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9	
Coste de mantenimiento	Vs	Aceptación comunitaria	1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9	
Coste de mantenimiento	Vs	Potencial creación de hábitat	1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9	
Aceptación comunitaria	Vs	Potencial creación de hábitat	1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9	

Matriz de comparación entre criterios- Escala Saaty:

	C1	C2	C3	C4	C5	C6
C1	1,0000	0,3333	5,0000	5,0000	7,0000	1,0000
C2	3,0000	1,0000	5,0000	5,0000	7,0000	3,0000
C3	0,2000	0,2000	1,0000	1,0000	3,0000	0,2000
C4	0,2000	0,2000	1,0000	1,0000	3,0000	0,2000
C5	0,1429	0,1429	0,3333	0,3333	1,0000	0,1429
C6	1,0000	0,3333	5,0000	5,0000	7,0000	1,0000
SUMA	5,5429	2,2095	17,3333	17,3333	28,0000	5,5429

Normalizando por la suma obtenemos la siguiente tabla:

$$X_{jk} \text{ normalizado} = \frac{X_{jk}}{\sum_{k=1}^m X_{jk}}$$

Obtenemos los pesos calculando el vector de prioridad mediante la media aritmética de cada fila de la tabla normalizada.

$$W_j = \frac{\sum_{j=1}^m X_{jk}}{m}$$

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	SUMA	PESO
C1	0,1804	0,1508	0,2885	0,2885	0,25	0,1804	1,33859475	0,22309912
C2	0,5412	0,4526	0,2885	0,2885	0,25	0,5412	2,36198113	0,39366352
C3	0,0361	0,0905	0,0577	0,0577	0,1071	0,0361	0,3852103	0,06420172
C4	0,0361	0,0905	0,0577	0,0577	0,1071	0,0361	0,3852103	0,06420172
C5	0,0258	0,0647	0,0192	0,0192	0,0357	0,0258	0,19040877	0,0317348
C6	0,1804	0,1508	0,2885	0,2885	0,25	0,1804	1,33859475	0,22309912

Se calcula la consistencia de la matriz para poder dar por validos los pesos calculados.

$$RC = \frac{IC}{IA} \leq 0.1 \quad IC = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1}$$

n	2	3	4	5	6	7	8	9	10
IA	0	0,58	0,9	1,12	1,24	1,32	1,41	1,25	1,49

Donde n es el número de criterios y λ_{max} es el sumatorio de los valores del vector obtenido al multiplicar la matriz de comparación de criterios sin normalizar por el vector de los pesos obtenidos.

1,0000	0,3333	5,0000	5,0000	7,0000	1,0000		0,22309912	1,44156704
3,0000	1,0000	5,0000	5,0000	7,0000	3,0000		0,39366352	2,59641901
0,2000	0,2000	1,0000	1,0000	3,0000	0,2000		0,06420172	0,39158018
0,2000	0,2000	1,0000	1,0000	3,0000	0,2000	*	0,06420172	= 0,39158018
0,1429	0,1429	0,3333	0,3333	1,0000	0,1429		0,0317348	0,19454791
1,0000	0,3333	5,0000	5,0000	7,0000	1,0000		0,22309912	1,44156704

$$\lambda_{max} = 6,45726135$$

$$n = 6$$

$$IA = 1,24$$

$$IC = 0,09145227$$

$$RC = 0,07375183 < 0,1$$

La matriz es consistente por lo que se aceptan los pesos obtenidos y se usarán para valorar los distintos SUDS.

	Pesos Wj	Peso (%)
Criterio 1	0,22309912	22,310
Criterio 2	0,39366352	39,366
Criterio 3	0,06420172	6,420
Criterio 4	0,06420172	6,420
Criterio 5	0,0317348	3,173
Criterio 6	0,22309912	22,310

Encuesta 7

Encuesta de comparación por pares de criterios para países empobrecidos*

Por favor, sombrear en amarillo un valor numérico para cada comparación de criterios.

Comparación del criterio i con respecto al j

Criterio i	Vs	Criterio j	Valor numérico									
Disminución del agua de escorrentía	Vs	Reducción de contaminantes	1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9	
Disminución del agua de escorrentía	Vs	Coste de ejecución	1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9	
Disminución del agua de escorrentía	Vs	Coste de mantenimiento	1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9	
Disminución del agua de escorrentía	Vs	Aceptación comunitaria	1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9	
Disminución del agua de escorrentía	Vs	Potencial creación de hábitat	1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9	
Reducción de contaminantes	Vs	Coste de ejecución	1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9	
Reducción de contaminantes	Vs	Coste de mantenimiento	1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9	
Reducción de contaminantes	Vs	Aceptación comunitaria	1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9	
Reducción de contaminantes	Vs	Potencial creación de hábitat	1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9	
Coste de ejecución	Vs	Coste de mantenimiento	1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9	
Coste de ejecución	Vs	Aceptación comunitaria	1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9	
Coste de ejecución	Vs	Potencial creación de hábitat	1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9	
Coste de mantenimiento	Vs	Aceptación comunitaria	1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9	
Coste de mantenimiento	Vs	Potencial creación de hábitat	1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9	
Aceptación comunitaria	Vs	Potencial creación de hábitat	1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9	

Matriz de comparación entre criterios- Escala Saaty:

	C1	C2	C3	C4	C5	C6
C1	1,0000	1,0000	0,3333	0,20000	0,1429	5,0000
C2	1,0000	1,0000	7,000	5,0000	5,0000	5,0000
C3	3,0000	0,1429	1,000	0,2000	0,3333	0,3333
C4	5,0000	0,2000	5,000	1,0000	5,0000	5,0000
C5	7,0000	0,2000	3,0000	0,2000	1,0000	5,0000
C6	0,2000	0,2000	3,0000	0,2000	0,2000	1,0000
SUMA	17,2000	2,7429	19,3333	6,8000	11,6762	21,3333

Normalizando por la suma obtenemos la siguiente tabla:

$$X_{jk} \text{ normalizado} = \frac{X_{jk}}{\sum_{k=1}^m X_{jk}}$$

Obtenemos los pesos calculando el vector de prioridad mediante la media aritmética de cada fila de la tabla normalizada.

$$W_j = \frac{\sum_{j=1}^m X_{jk}}{m}$$

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	SUMA	PESO
C1	0,0581	0,3646	0,0172	0,0294	0,0122	0,2344	0,71598256	0,11933043
C2	0,0581	0,3646	0,3621	0,7353	0,4282	0,2344	2,18267776	0,36377963
C3	0,1744	0,0521	0,0517	0,0294	0,0285	0,0156	0,35182145	0,05863691
C4	0,2907	0,0729	0,2586	0,1471	0,4282	0,2344	1,43189004	0,23864834
C5	0,4070	0,0729	0,1552	0,0294	0,0856	0,2344	0,98449639	0,16408273
C6	0,0116	0,0729	0,1552	0,0294	0,0171	0,0469	0,33313181	0,05552197

Se calcula la consistencia de la matriz para poder dar por validos los pesos calculados.

$$RC = \frac{IC}{IA} \leq 0.1 \quad IC = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1}$$

n	2	3	4	5	6	7	8	9	10
IA	0	0,58	0,9	1,12	1,24	1,32	1,41	1,25	1,49

Donde n es el número de criterios y λ_{max} es el sumatorio de los valores del vector obtenido al multiplicar la matriz de comparación de criterios sin normalizar por el vector de los pesos obtenidos.

1,0000	1,0000	0,3333	0,2000	0,1429	5,0000		0,11933043	0,85144067
1,0000	1,0000	7,0000	5,0000	5,0000	5,0000		0,36377963	3,18483361
3,0000	0,1429	1,0000	0,2000	0,3333	0,3333		0,05863691	0,58953621
5,0000	0,2000	5,0000	1,0000	5,0000	5,0000	*	0,23864834	= 2,29926444
7,0000	0,2000	3,0000	0,2000	1,0000	5,0000		0,16408273	1,57340188
0,2000	0,2000	3,0000	0,2000	0,2000	1,0000		0,05552197	0,40860092

$$\lambda_{max} = 8,90707772$$

$$n = 6$$

$$IA = 1,24$$

$$IC = 0,58141554$$

$$RC = 0,4688835 > 0,1$$

La matriz es inconsistente por lo que no se aceptan los pesos obtenidos y no se usarán para valorar los distintos SUDS.

	Pesos Wj	Peso (%)
Criterio 1	0,11933043	11,933
Criterio 2	0,36377963	36,378
Criterio 3	0,05863691	5,864
Criterio 4	0,23864834	23,865
Criterio 5	0,16408273	16,408
Criterio 6	0,05552197	5,552

Encuesta 8

Encuesta de comparación por pares de criterios para países empobrecidos*

Por favor, sombrear en amarillo un valor numérico para cada comparación de criterios.

Comparación del criterio i con respecto al j

Criterio i	Vs	Criterio j	Valor numérico									
Disminución del agua de escorrentía	Vs	Reducción de contaminantes	1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9	
Disminución del agua de escorrentía	Vs	Coste de ejecución	1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9	
Disminución del agua de escorrentía	Vs	Coste de mantenimiento	1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9	
Disminución del agua de escorrentía	Vs	Aceptación comunitaria	1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9	
Disminución del agua de escorrentía	Vs	Potencial creación de hábitat	1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9	
Reducción de contaminantes	Vs	Coste de ejecución	1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9	
Reducción de contaminantes	Vs	Coste de mantenimiento	1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9	
Reducción de contaminantes	Vs	Aceptación comunitaria	1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9	
Reducción de contaminantes	Vs	Potencial creación de hábitat	1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9	
Coste de ejecución	Vs	Coste de mantenimiento	1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9	
Coste de ejecución	Vs	Aceptación comunitaria	1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9	
Coste de ejecución	Vs	Potencial creación de hábitat	1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9	
Coste de mantenimiento	Vs	Aceptación comunitaria	1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9	
Coste de mantenimiento	Vs	Potencial creación de hábitat	1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9	
Aceptación comunitaria	Vs	Potencial creación de hábitat	1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9	

Matriz de comparación entre criterios- Escala Saaty:

	C1	C2	C3	C4	C5	C6
C1	1,0000	5,0000	0,1429	0,1111	5,0000	7,0000
C2	0,2000	1,0000	0,2000	0,1111	3,0000	5,0000
C3	7,0000	5,0000	1,0000	0,2000	3,0000	5,0000
C4	9,0000	9,0000	5,0000	1,0000	7,0000	9,0000
C5	0,2000	0,3333	0,3333	0,1429	1,0000	5,0000
C6	0,1429	0,2000	0,2000	0,1111	0,2000	1,0000
SUMA	17,5429	20,5333	6,8762	1,6762	19,2000	32,0000

Normalizando por la suma obtenemos la siguiente tabla:

$$X_{jk} \text{ normalizado} = \frac{X_{jk}}{\sum_{k=1}^m X_{jk}}$$

Obtenemos los pesos calculando el vector de prioridad mediante la media aritmética de cada fila de la tabla normalizada.

$$W_j = \frac{\sum_{j=1}^m X_{jk}}{m}$$

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	SUMA	PESO
C1	0,0570	0,2435	0,0208	0,0663	0,2604	0,2188	0,86673937	0,14445656
C2	0,0114	0,0487	0,0291	0,0663	0,1563	0,1563	0,46796871	0,07799478
C3	0,3990	0,2435	0,1454	0,1193	0,1563	0,1563	1,21977538	0,2032959
C4	0,5130	0,4383	0,7271	0,5966	0,3646	0,2813	2,92090712	0,48681785
C5	0,0114	0,0162	0,0485	0,0853	0,0521	0,1563	0,36969002	0,061615
C6	0,0081	0,0097	0,0291	0,0663	0,0104	0,0313	0,15491939	0,0258199

Se calcula la consistencia de la matriz para poder dar por validos los pesos calculados.

$$RC = \frac{IC}{IA} \leq 0.1 \quad IC = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1}$$

n	2	3	4	5	6	7	8	9	10
IA	0	0,58	0,9	1,12	1,24	1,32	1,41	1,25	1,49

Donde n es el número de criterios y λ_{max} es el sumatorio de los valores del vector obtenido al multiplicar la matriz de comparación de criterios sin normalizar por el vector de los pesos obtenidos.

1,0000	5,0000	0,1429	0,1111	5,0000	7,0000		0,14445656	1,10638124
0,2000	1,0000	0,2000	0,1111	3,0000	5,0000		0,07799478	0,51557525
7,0000	5,0000	1,0000	0,2000	3,0000	5,0000		0,2032959	2,01577383
9,0000	9,0000	5,0000	1,0000	7,0000	9,0000	*	0,48681785	= 4,16904358
0,2000	0,3333	0,3333	0,1429	1,0000	5,0000		0,061615	0,38292627
0,1429	0,2000	0,2000	0,1111	0,2000	1,0000		0,0258199	0,16912934

$$\lambda_{max} = 8,3588295$$

$$n = 6$$

$$IA = 1,24$$

$$IC = 0,4717659$$

$$RC = 0,38045637 > 0,1$$

La matriz es inconsistente por lo que no se aceptan los pesos obtenidos y no se usarán para valorar los distintos SUDS.

	Pesos Wj	Peso (%)
Criterio 1	0,14445656	14,446
Criterio 2	0,07799478	7,799
Criterio 3	0,2032959	20,330
Criterio 4	0,48681785	48,681
Criterio 5	0,061615	6,162
Criterio 6	0,0258199	2,582

Encuesta 9

Encuesta de comparación por pares de criterios para países empobrecidos*

Por favor, sombrear en amarillo un valor numérico para cada comparación de criterios.

Comparación del criterio i con respecto al j

Criterio i	Vs	Criterio j	Valor numérico									
Disminución del agua de escorrentía	Vs	Reducción de contaminantes	1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9	
Disminución del agua de escorrentía	Vs	Coste de ejecución	1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9	
Disminución del agua de escorrentía	Vs	Coste de mantenimiento	1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9	
Disminución del agua de escorrentía	Vs	Aceptación comunitaria	1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9	
Disminución del agua de escorrentía	Vs	Potencial creación de hábitat	1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9	
Reducción de contaminantes	Vs	Coste de ejecución	1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9	
Reducción de contaminantes	Vs	Coste de mantenimiento	1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9	
Reducción de contaminantes	Vs	Aceptación comunitaria	1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9	
Reducción de contaminantes	Vs	Potencial creación de hábitat	1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9	
Coste de ejecución	Vs	Coste de mantenimiento	1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9	
Coste de ejecución	Vs	Aceptación comunitaria	1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9	
Coste de ejecución	Vs	Potencial creación de hábitat	1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9	
Coste de mantenimiento	Vs	Aceptación comunitaria	1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9	
Coste de mantenimiento	Vs	Potencial creación de hábitat	1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9	
Aceptación comunitaria	Vs	Potencial creación de hábitat	1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9	

Matriz de comparación entre criterios- Escala Saaty:

	C1	C2	C3	C4	C5	C6
C1	1,0000	5,0000	1,0000	1,0000	3,0000	5,0000
C2	0,2000	1,0000	0,3333	0,3333	0,3333	3,0000
C3	1,0000	3,0000	1,0000	3,0000	3,0000	5,0000
C4	1,0000	3,0000	0,3333	1,0000	3,0000	5,0000
C5	0,3333	3,0000	0,3333	0,3333	1,0000	3,0000
C6	0,2000	0,3333	0,2000	0,2000	0,3333	1,0000
SUMA	3,7333	15,3333	3,1999	5,8666	10,6666	22,0000

Normalizando por la suma obtenemos la siguiente tabla:

$$X_{jk} \text{ normalizado} = \frac{X_{jk}}{\sum_{k=1}^m X_{jk}}$$

Obtenemos los pesos calculando el vector de prioridad mediante la media aritmética de cada fila de la tabla normalizada.

$$W_j = \frac{\sum_{j=1}^m X_{jk}}{m}$$

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	SUMA	PESO
C1	0,2679	0,3261	0,3125	0,1705	0,2813	0,2273	1,58543793	0,26423966
C2	0,0536	0,0652	0,1042	0,0568	0,0312	0,1364	0,4473728	0,07456213
C3	0,2679	0,1957	0,3125	0,5114	0,2813	0,2273	1,79591583	0,29931931
C4	0,2679	0,1957	0,1042	0,1705	0,2813	0,2273	1,24665261	0,20777543
C5	0,0893	0,1957	0,1042	0,0568	0,0938	0,1364	0,67601705	0,11266951
C6	0,0536	0,0217	0,0625	0,0341	0,0312	0,0455	0,24860378	0,04143396

Se calcula la consistencia de la matriz para poder dar por validos los pesos calculados.

$$RC = \frac{IC}{IA} \leq 0.1 \quad IC = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1}$$

n	2	3	4	5	6	7	8	9	10
IA	0	0,58	0,9	1,12	1,24	1,32	1,41	1,25	1,49

Donde n es el número de criterios y λ_{max} es el sumatorio de los valores del vector obtenido al multiplicar la matriz de comparación de criterios sin normalizar por el vector de los pesos obtenidos.

1,0000	5,0000	1,0000	1,0000	3,0000	5,0000		0,26423966		1,6893234
0,2000	1,0000	0,3333	0,3333	0,3333	3,0000		0,07456213		0,45827938
1,0000	3,0000	1,0000	3,0000	3,0000	5,0000		0,29931931		1,95575
1,0000	3,0000	0,3333	1,0000	3,0000	5,0000	*	0,20777543	=	1,34064295
0,3333	3,0000	0,3333	0,3333	1,0000	3,0000		0,11266951		0,71774355
0,2000	0,3333	0,2000	0,2000	0,3333	1,0000		0,04143396		0,25810515

$$\lambda_{max} = 6,41984443$$

$$n = 6$$

$$IA = 1,24$$

$$IC = 0,08396889$$

$$RC = 0,06771684 < 0,1$$

La matriz es consistente por lo que se aceptan los pesos obtenidos y se usarán para valorar los distintos SUDS.

	Pesos Wj	Peso (%)
Criterio 1	0,26423966	26,424
Criterio 2	0,07456213	7,456
Criterio 3	0,29931931	29,932
Criterio 4	0,20777543	20,778
Criterio 5	0,11266951	11,267
Criterio 6	0,04143396	4,143

Encuesta 10

Encuesta de comparación por pares de criterios para países empobrecidos*

Por favor, sombrear en amarillo un valor numérico para cada comparación de criterios.

Comparación del criterio i con respecto al j

Criterio i	Vs	Criterio j	Valor numérico									
Disminución del agua de escorrentía	Vs	Reducción de contaminantes	1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9	
Disminución del agua de escorrentía	Vs	Coste de ejecución	1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9	
Disminución del agua de escorrentía	Vs	Coste de mantenimiento	1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9	
Disminución del agua de escorrentía	Vs	Aceptación comunitaria	1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9	
Disminución del agua de escorrentía	Vs	Potencial creación de hábitat	1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9	
Reducción de contaminantes	Vs	Coste de ejecución	1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9	
Reducción de contaminantes	Vs	Coste de mantenimiento	1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9	
Reducción de contaminantes	Vs	Aceptación comunitaria	1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9	
Reducción de contaminantes	Vs	Potencial creación de hábitat	1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9	
Coste de ejecución	Vs	Coste de mantenimiento	1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9	
Coste de ejecución	Vs	Aceptación comunitaria	1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9	
Coste de ejecución	Vs	Potencial creación de hábitat	1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9	
Coste de mantenimiento	Vs	Aceptación comunitaria	1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9	
Coste de mantenimiento	Vs	Potencial creación de hábitat	1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9	
Aceptación comunitaria	Vs	Potencial creación de hábitat	1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9	

Matriz de comparación entre criterios- Escala Saaty:

	C1	C2	C3	C4	C5	C6
C1	1,0000	7,0000	3,0000	0,1111	0,1111	7,0000
C2	0,1429	1,0000	3,0000	0,1111	0,1111	7,0000
C3	0,3333	0,3333	1,0000	0,1111	0,1111	5,0000
C4	9,0000	9,0000	9,0000	1,0000	1,0000	9,0000
C5	9,0000	9,0000	9,0000	1,0000	1,0000	9,0000
C6	0,1429	0,1429	0,2000	0,1111	0,1111	1,0000
SUMA	19,6191	26,4762	25,2000	2,4444	2,4444	38,0000

Normalizando por la suma obtenemos la siguiente tabla:

$$X_{jk} \text{ normalizado} = \frac{X_{jk}}{\sum_{k=1}^m X_{jk}}$$

Obtenemos los pesos calculando el vector de prioridad mediante la media aritmética de cada fila de la tabla normalizada.

$$W_j = \frac{\sum_{j=1}^m X_{jk}}{m}$$

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	SUMA	PESO
C1	0,0510	0,2644	0,1190	0,0455	0,0455	0,1842	0,70951893	0,11825315
C2	0,0073	0,0378	0,1190	0,0455	0,0455	0,1842	0,43921329	0,07320221
C3	0,0170	0,0126	0,0397	0,0455	0,0455	0,1316	0,29174035	0,04862339
C4	0,4587	0,3399	0,3571	0,4091	0,4091	0,2368	2,21084623	0,36847437
C5	0,4587	0,3399	0,3571	0,4091	0,4091	0,2368	2,21084623	0,36847437
C6	0,0073	0,0054	0,0079	0,0455	0,0455	0,0263	0,13783497	0,02297249

Se calcula la consistencia de la matriz para poder dar por validos los pesos calculados.

$$RC = \frac{IC}{IA} \leq 0.1 \quad IC = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1}$$

n	2	3	4	5	6	7	8	9	10
IA	0	0,58	0,9	1,12	1,24	1,32	1,41	1,25	1,49

Donde n es el número de criterios y λ_{max} es el sumatorio de los valores del vector obtenido al multiplicar la matriz de comparación de criterios sin normalizar por el vector de los pesos obtenidos.

1,0000	7,0000	3,0000	0,1111	0,1111	7,0000		0,11825315		1,0192213
0,1429	1,0000	3,0000	0,1111	0,1111	7,0000		0,07320221		0,47865324
0,3333	0,3333	1,0000	0,1111	0,1111	5,0000		0,04862339		0,30917295
9,0000	9,0000	9,0000	1,0000	1,0000	9,0000	*	0,36847437	=	3,10441005
9,0000	9,0000	9,0000	1,0000	1,0000	9,0000		0,36847437		3,10441005
0,1429	0,1429	0,2000	0,1111	0,1111	1,0000		0,02297249		0,14193115

$$\lambda_{max} = 8,15779873$$

$$n = 6$$

$$IA = 1,24$$

$$IC = 0,43155975$$

$$RC = 0,34803205 > 0,1$$

La matriz es inconsistente por lo que no se aceptan los pesos obtenidos y no se usarán para valorar los distintos SUDS.

	Pesos Wj	Peso (%)
Criterio 1	0,11825315	11,825
Criterio 2	0,07320221	7,320
Criterio 3	0,04862339	4,862
Criterio 4	0,36847437	36,847
Criterio 5	0,36847437	36,847
Criterio 6	0,02297249	2,297

Encuesta 11

Encuesta de comparación por pares de criterios para países empobrecidos*

Por favor, sombrear en amarillo un valor numérico para cada comparación de criterios.

Comparación del criterio i con respecto al j

Criterio i	Vs	Criterio j	Valor numérico									
Disminución del agua de esorrentía	Vs	Reducción de contaminantes	1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9	
Disminución del agua de esorrentía	Vs	Coste de ejecución	1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9	
Disminución del agua de esorrentía	Vs	Coste de mantenimiento	1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9	
Disminución del agua de esorrentía	Vs	Aceptación comunitaria	1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9	
Disminución del agua de esorrentía	Vs	Potencial creación de hábitat	1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9	
Reducción de contaminantes	Vs	Coste de ejecución	1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9	
Reducción de contaminantes	Vs	Coste de mantenimiento	1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9	
Reducción de contaminantes	Vs	Aceptación comunitaria	1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9	
Reducción de contaminantes	Vs	Potencial creación de hábitat	1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9	
Coste de ejecución	Vs	Coste de mantenimiento	1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9	
Coste de ejecución	Vs	Aceptación comunitaria	1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9	
Coste de ejecución	Vs	Potencial creación de hábitat	1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9	
Coste de mantenimiento	Vs	Aceptación comunitaria	1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9	
Coste de mantenimiento	Vs	Potencial creación de hábitat	1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9	
Aceptación comunitaria	Vs	Potencial creación de hábitat	1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9	

Matriz de comparación entre criterios- Escala Saaty:

	C1	C2	C3	C4	C5	C6
C1	1,0000	1,0000	0,2000	0,2000	3,0000	1,0000
C2	1,0000	1,0000	0,2000	0,2000	3,0000	1,0000
C3	5,0000	5,0000	1,0000	0,3333	3,0000	3,0000
C4	5,0000	5,0000	3,0000	1,0000	5,0000	5,0000
C5	0,3333	0,3333	0,3333	0,2000	1,0000	0,3333
C6	1,0000	1,0000	0,3333	0,2000	3,0000	1,0000
SUMA	13,3333	13,3333	5,0666	2,1333	18,0000	11,3333

Normalizando por la suma obtenemos la siguiente tabla:

$$X_{jk} \text{ normalizado} = \frac{X_{jk}}{\sum_{k=1}^m X_{jk}}$$

Obtenemos los pesos calculando el vector de prioridad mediante la media aritmética de cada fila de la tabla normalizada.

$$W_j = \frac{\sum_{j=1}^m X_{jk}}{m}$$

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	SUMA	PESO
C1	0,0750	0,0750	0,0395	0,0938	0,1667	0,0882	0,53812826	0,08968804
C2	0,0750	0,0750	0,0395	0,0938	0,1667	0,0882	0,53812826	0,08968804
C3	0,3750	0,3750	0,1974	0,1562	0,1667	0,2647	1,53498304	0,25583051
C4	0,3750	0,3750	0,5921	0,4688	0,2778	0,4412	2,5298278	0,42163797
C5	0,0250	0,0250	0,0658	0,0938	0,0556	0,0294	0,29449482	0,04908247
C6	0,0750	0,0750	0,0658	0,0938	0,1667	0,0882	0,56443782	0,09407297

Se calcula la consistencia de la matriz para poder dar por validos los pesos calculados.

$$RC = \frac{IC}{IA} \leq 0.1 \quad IC = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1}$$

n	2	3	4	5	6	7	8	9	10
IA	0	0,58	0,9	1,12	1,24	1,32	1,41	1,25	1,49

Donde n es el número de criterios y λ_{max} es el sumatorio de los valores del vector obtenido al multiplicar la matriz de comparación de criterios sin normalizar por el vector de los pesos obtenidos.

1,0000	1,0000	0,2000	0,2000	3,0000	1,0000		0,08968804		0,55619016
1,0000	1,0000	0,2000	0,2000	3,0000	1,0000		0,08968804		0,55619016
5,0000	5,0000	1,0000	0,3333	3,0000	3,0000		0,25583051		1,7227092
5,0000	5,0000	3,0000	1,0000	5,0000	5,0000	*	0,42163797	=	2,80178712
0,3333	0,3333	0,3333	0,2000	1,0000	0,3333		0,04908247		0,30981894
1,0000	1,0000	0,3333	0,2000	3,0000	1,0000		0,09407297		0,59029237

$$\lambda_{max} = 6,53698795$$

$$n = 6$$

$$IA = 1,24$$

$$IC = 0,10739759$$

$$RC = 0,08661096 < 0,1$$

La matriz es consistente por lo que se aceptan los pesos obtenidos y se usarán para valorar los distintos SUDS.

	Pesos Wj	Peso (%)
Criterio 1	0,08968804	8,969
Criterio 2	0,08968804	8,969
Criterio 3	0,25583051	25,583
Criterio 4	0,42163797	42,164
Criterio 5	0,04908247	4,908
Criterio 6	0,09407297	9,407

ANEXO 2

4.3 SELECCIÓN DE SUDS

Método TOPSIS

1º Se crea la matriz de decisión con los pesos (W) de cada criterio obtenidos en el apartado 4.2 “ponderación de los criterios” y cuyos cálculos se encuentran en el Anexo 1.

Pesos	0,216	0,163	0,178	0,185	0,143	0,115
	Criterio 1	Criterio 2	Criterio 3	Criterio 4	Criterio 5	Criterio 6
Pavimento permeable	3	3	2	2	2	1
Cubierta verde	3	3	3	3	3	3
Depósitos infiltración	3	3	1	2	3	2
Zanja de infiltración	3	3	1	1	2	1
Pozo de infiltración	3	3	2	1	2	1
Cunetas verdes	3	2	1	3	2	1
Drenes filtrantes	3	3	3	2	2	1
Franjas filtrantes	1	3	2	2	2	1
Depósitos superficiales de detención	1	2	2	2	3	3
Estanques de retención	1	3	2	2	3	3
Áreas de biorretención	2	3	2	2	3	2
Filtros de arena	1	3	3	2	1	1
Humedales artificiales	1	3	3	3	3	3

Tabla 64 -Matriz de decisión. Elaboración propia

2º Se normaliza la matriz mediante normalización vectorial utilizando la siguiente fórmula:

$$n_{ij} = \frac{X_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (X_{ij})^2}}$$

Donde Xij son los elementos que forman la matriz y n es el número de alternativas.

	Criterio 1	Criterio 2	Criterio 3	Criterio 4	Criterio 5	Criterio 6
Pavimento permeable	0,3536	0,2900	0,25120	0,2561	0,2250	0,1400
Cubierta verde	0,3536	0,2900	0,3780	0,3841	0,3375	0,4201
Depósitos infiltración	0,3536	0,2900	0,1260	0,2560	0,3375	0,2801
Zanja de infiltración	0,3536	0,2900	0,1260	0,1280	0,2250	0,1400
Pozo de infiltración	0,3536	0,2900	0,2520	0,1280	0,2250	0,1400
Cunetas verdes	0,3536	0,1933	0,1260	0,3841	0,2250	0,1400
Drenes filtrantes	0,3536	0,2900	0,3780	0,2561	0,2250	0,1400
Franjas filtrantes	0,1179	0,2900	0,2520	0,2561	0,2250	0,1400
Depósitos superficiales de	0,1179	0,1933	0,2520	0,2561	0,3375	0,4201
Estanques de retención	0,1179	0,2900	0,2520	0,2561	0,3375	0,4201
Áreas de bioretención	0,2357	0,2900	0,2520	0,2561	0,3375	0,2801
Filtros de arena	0,1179	0,2900	0,3780	0,2561	0,1125	0,1400
Humedales artificiales	0,1179	0,2900	0,3780	0,3841	0,3375	0,4201

3º Se multiplica la nueva matriz ya normalizada por sus correspondientes pesos.

Pesos	0,216	0,163	0,178	0,185	0,143	0,115
	Criterio 1	Criterio 2	Criterio 3	Criterio 4	Criterio 5	Criterio 6
Pavimento permeable	0,076	0,047	0,045	0,047	0,032	0,016
Cubierta verde	0,076	0,047	0,067	0,071	0,048	0,048
Depósitos infiltración	0,076	0,047	0,022	0,047	0,048	0,032
Zanja de infiltración	0,076	0,047	0,022	0,024	0,032	0,016
Pozo de infiltración	0,076	0,047	0,045	0,024	0,032	0,016
Cunetas verdes	0,076	0,032	0,022	0,071	0,032	0,016
Drenes filtrantes	0,076	0,047	0,067	0,047	0,032	0,016
Franjas filtrantes	0,025	0,047	0,045	0,047	0,032	0,016
Depósitos superficiales	0,025	0,032	0,045	0,047	0,048	0,048
Estanques de retención	0,025	0,047	0,045	0,047	0,048	0,048
Áreas de bioretención	0,051	0,047	0,045	0,047	0,048	0,032
Filtros de arena	0,025	0,047	0,067	0,047	0,016	0,016
Humedales artificiales	0,025	0,047	0,067	0,071	0,048	0,048

4º Cálculo de la posición ideal positiva (PIS) y negativa (NIS) para cada criterio.

La posición ideal positiva PIS será el valor mayor y la posición ideal negativa será el valor menor cuando lo ideal sea maximizar ese criterio. Este es el caso de los criterios 1, 4, 5 y 6. De la misma manera cuando lo ideal sea minimizar ese criterio, como es en el caso de criterio 2 y 3, la posición ideal positiva PIS será el valor menor y la posición ideal negativa será el valor mayor.

	Criterio 1	Criterio 2	Criterio 3	Criterio 4	Criterio 5	Criterio 6
PIS	0,076	0,047	0,022	0,024	0,048	0,048
NIS	0,025	0,032	0,067	0,071	0,016	0,016

5º Cálculo de las distancias euclídeas al PIS y al NIS con matriz normalizada:

$$dist.PIS = \sqrt{\sum_{j=1}^m (X_{ij} - PIS_j)^2}$$

$$dist.NIS = \sqrt{\sum_{j=1}^m (X_{ij} - NIS_j)^2}$$

Donde m es el número de criterios.

	Dist PIS	Dist NIS
Pavimento permeable	0,049	0,064
Cubierta verde	0,065	0,070
Depósitos infiltración	0,029	0,082
Zanja de infiltración	0,036	0,086
Pozo de infiltración	0,042	0,076
Cunetas verdes	0,062	0,070
Drenes filtrantes	0,062	0,060
Franjas filtrantes	0,070	0,040
Depósitos superficiales de detención	0,062	0,056
Estanques de retención	0,060	0,058
Áreas de bioretención	0,044	0,057
Filtros de arena	0,085	0,028
Humedales artificiales	0,083	0,048

6º Calculamos la proximidad relativa a la solución ideal:

$$Ri = \frac{Dist\ NISi}{Dist\ PISi + Dist\ NISi}$$

La mejor alternativa será la que más se aproxime a R=1.

	Ri
Pavimento permeable	0,570
Cubierta verde	0,518
Depósitos infiltración	0,741
Zanja de infiltración	0,704
Pozo de infiltración	0,643
Cunetas verdes	0,530
Drenes filtrantes	0,493
Franjas filtrantes	0,361
Depósitos superficiales de detención	0,473
Estanques de retención	0,491
Áreas de bioretención	0,563
Filtros de arena	0,251
Humedales artificiales	0,368

Método SAW

1º Obtenemos el valor óptimo de cada criterio.

Si lo que se busca es maximizar el criterio, como es en el caso de disminución del agua de escorrentía, reducción de contaminantes, aceptación comunitaria y potencial creación de hábitat, el valor óptimo será el mayor entre todas las alternativas correspondiente a dicho criterio. De la misma manera si lo que se busca es minimizar dicho criterio, como en el caso de costes de ejecución o mantenimiento, el valor óptimo es el mínimo entre todas las alternativas para dicho criterio

Pesos	0,216	0,163	0,178	0,185	0,143	0,115
	Criterio	Criterio	Criterio	Criterio	Criterio	Criterio
Pavimento permeable	3	3	2	2	2	1
Cubierta verde	3	3	3	3	3	3
Depósitos infiltración	3	3	1	2	3	2
Zanja de infiltración	3	3	1	1	2	1
Pozo de infiltración	3	3	2	1	2	1
Cunetas verdes	3	2	1	3	2	1
Drenes filtrantes	3	3	3	2	2	1
Franjas filtrantes	1	3	2	2	2	1
Depósitos superficiales de	1	2	2	2	3	3
Estanques de retención	1	3	2	2	3	3
Áreas de bioretención	2	3	2	2	3	2
Filtros de arena	1	3	3	2	1	1
Humedales artificiales	1	3	3	3	3	3
optimo	3	3	1	1	3	3

2º Normalizamos la tabla.

Criterios que queremos maximizar:

$$X_{ij} \text{ normalizado} = \frac{X_{ij}}{\text{Valor óptimo de criterio } j}$$

Criterios que queremos minimizar:

$$X_{ij} \text{ normalizado} = \frac{\text{Valor óptimo de criterio } j}{X_{ij}}$$

	Criterio 1	Criterio 2	Criterio 3	Criterio 4	Criterio 5	Criterio 6
Pavimento permeable	1,000	1,000	0,500	0,500	0,667	0,333
Cubierta verde	1,000	1,000	0,333	0,333	1,000	1,000
Depósitos infiltración	1,000	1,000	1,000	0,500	1,000	0,667
Zanja de infiltración	1,000	1,000	1,000	1,000	0,667	0,333
Pozo de infiltración	1,000	1,000	0,500	1,000	0,667	0,333
Cunetas verdes	1,000	0,667	1,000	0,333	0,667	0,333
Drenes filtrantes	1,000	1,000	0,333	0,500	0,667	0,333
Franjas filtrantes	0,333	1,000	0,500	0,500	0,667	0,333
Depósitos superficiales	0,333	0,667	0,500	0,500	1,000	1,000
Estanques de retención	0,333	1,000	0,500	0,500	1,000	1,000
Áreas de bioretención	0,667	1,000	0,500	0,500	1,000	0,667
Filtros de arena	0,333	1,000	0,333	0,500	0,333	0,333
Humedales artificiales	0,333	1,000	0,333	0,333	0,667	1,000
	maximiza	maximiza	minimiza	minimiza	maximiza	maximiza

3º Calculamos la puntuación final:

$$S_j = \sum_{j=1}^m X_{ij} * W_j$$

Pavimento permeable	0,694
Cubierta verde	0,758
Depósitos infiltración	0,869
Zanja de infiltración	0,876
Pozo de infiltración	0,787
Cunetas verdes	0,698
Drenes filtrantes	0,665
Franjas filtrantes	0,550
Depósitos superficiales de detención	0,620
Estanques de retención	0,675
Áreas de bioretención	0,708
Filtros de arena	0,473
Humedales artificiales	0,566

Método WASPAS

1º Obtenemos el valor óptimo de cada criterio.

Si lo que se busca es maximizar el criterio, como podría ser en caso de disponibilidad de medios o generación de beneficios, el valor óptimo será el mayor entre todas las alternativas correspondiente a dicho criterio. De la misma manera si lo que se busca es minimizar dicho criterio, como podría ser el caso de costes o parámetros relacionados con la contaminación el valor óptimo es el mínimo entre todas las alternativas para dicho criterio.

Pesos	0,216	0,163	0,178	0,185	0,143	0,115
	Criterio 1	Criterio 2	Criterio 3	Criterio 4	Criterio 5	Criterio 6
Pavimento permeable	3	3	2	2	2	1
Cubierta verde	3	3	3	3	3	3
Depósitos infiltración	3	3	1	2	3	2
Zanja de infiltración	3	3	1	1	2	1
Pozo de infiltración	3	3	2	1	2	1
Cunetas verdes	3	2	1	3	2	1
Drenes filtrantes	3	3	3	2	2	1
Franjas filtrantes	1	3	2	2	2	1
Depósitos superficiales de detención	1	2	2	2	3	3
Estanques de retención	1	3	2	2	3	3
Áreas de bioretención	2	3	2	2	3	2
Filtros de arena	1	3	3	2	1	1
Humedales artificiales	1	3	3	3	3	3
optimo	3	3	1	1	3	3

2º Normalizamos la tabla.

Criterios que queremos maximizar:

$$X_{ij} \text{ normalizado} = \frac{X_{ij}}{\text{Valor óptimo de criterio } j}$$

Criterios que queremos minimizar:

$$X_{ij} \text{ normalizado} = \frac{\text{Valor óptimo de criterio } j}{X_{ij}}$$

	MAX	MAX	MIN	MIN	MAX	MAX
Pesos	0,216	0,163	0,178	0,185	0,143	0,115
	Criterio 1	Criterio 2	Criterio 3	Criterio 4	Criterio 5	Criterio 6
Pavimento permeable	1,000	1,000	0,500	0,500	0,667	0,333
Cubierta verde	1,000	1,000	0,333	0,333	1,000	1,000
Depósitos infiltración	1,000	1,000	1,000	0,500	1,000	0,667
Zanja de infiltración	1,000	1,000	1,000	1,000	0,667	0,333
Pozo de infiltración	1,000	1,000	0,500	1,000	0,667	0,333
Cunetas verdes	1,000	0,667	1,000	0,333	0,667	0,333
Drenes filtrantes	1,000	1,000	0,333	0,500	0,667	0,333
Franjas filtrantes	0,333	1,000	0,500	0,500	0,667	0,333
Depósitos superficiales de	0,333	0,667	0,500	0,500	1,000	1,000
Estanques de retención	0,333	1,000	0,500	0,500	1,000	1,000
Áreas de biorretención	0,667	1,000	0,500	0,500	1,000	0,667
Filtros de arena	0,333	1,000	0,333	0,500	0,333	0,333
Humedales artificiales	0,333	1,000	0,333	0,333	1,000	1,000

3º Calculamos la puntuación final para cada valor de λ :

$$S_j = \lambda * Q1 + (1 - \lambda) * Q2$$

$$Q1 = \sum_{j=1}^m X_{ij} * W_j$$

$$Q2 = \prod_{j=1}^m X_{ij}^{W_j}$$

$$S_j = \lambda * \sum_{j=1}^m X_{ij} * W_j + (1 - \lambda) * \prod_{j=1}^m X_{ij}^{W_j}$$

Donde m es el número de criterios y λ toma valores de 0 a 1.

	Q1	Q2
Pavimento permeable	0,694	0,647
Cubierta verde	0,758	0,671
Depósitos infiltración	0,869	0,839
Zanja de infiltración	0,876	0,832
Pozo de infiltración	0,787	0,735
Cunetas verdes	0,698	0,635
Drenes filtrantes	0,665	0,602
Franjas filtrantes	0,550	0,510
Depósitos superficiales de detención	0,620	0,574
Estanques de retención	0,675	0,614
Áreas de biorretención	0,708	0,680
Filtros de arena	0,473	0,430
Humedales artificiales	0,614	0,530

λ	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
A1	0,647	0,651	0,656	0,661	0,666	0,670	0,675	0,680	0,685	0,689	0,694
A2	0,671	0,680	0,689	0,697	0,706	0,715	0,723	0,732	0,741	0,749	0,758
A3	0,839	0,842	0,845	0,848	0,851	0,854	0,857	0,860	0,863	0,866	0,869
A4	0,832	0,836	0,840	0,845	0,849	0,854	0,858	0,862	0,867	0,871	0,876
A5	0,735	0,740	0,746	0,751	0,756	0,761	0,766	0,771	0,776	0,782	0,787
A6	0,635	0,641	0,648	0,654	0,660	0,666	0,673	0,679	0,685	0,691	0,698
A7	0,602	0,608	0,614	0,621	0,627	0,633	0,639	0,646	0,652	0,658	0,665
A8	0,510	0,514	0,518	0,522	0,526	0,530	0,534	0,538	0,542	0,546	0,550
A9	0,574	0,579	0,584	0,588	0,593	0,597	0,602	0,607	0,611	0,616	0,620
A10	0,614	0,620	0,626	0,632	0,638	0,644	0,650	0,656	0,663	0,669	0,675
A11	0,680	0,683	0,686	0,689	0,691	0,694	0,697	0,700	0,703	0,706	0,708
A12	0,430	0,434	0,439	0,443	0,447	0,452	0,456	0,460	0,465	0,469	0,473
A13	0,530	0,539	0,547	0,555	0,564	0,572	0,581	0,589	0,597	0,606	0,614

Analizando los resultados obtenidos para cada λ , la mejor alternativa será la que se acerque más a 1.

λ	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
A3	A3	A3	A3	A3	A3	A3	A4	A4	A4	A4	A4
A4	A4	A4	A4	A4	A4	A4	A3	A3	A3	A3	A3
A5	A5	A5	A5	A5	A5	A5	A5	A5	A5	A5	A5
A11	A11	A2	A2	A2	A2	A2	A2	A2	A2	A2	A2
A2	A2	A11	A11	A11	A11	A11	A11	A11	A11	A11	A11
A1	A11	A1	A1	A1	A1	A1	A1	A1	A6	A6	A6
A6	A6	A6	A6	A6	A6	A6	A6	A6	A1	A1	A1
A10	A10	A10	A10	A10	A10	A10	A10	A10	A10	A10	A10
A7	A7	A7	A7	A7	A7	A7	A7	A7	A7	A7	A7
A9	A9	A9	A9	A9	A9	A9	A9	A9	A9	A9	A9
A13	A13	A13	A13	A13	A13	A13	A13	A13	A13	A13	A13
A8	A8	A8	A8	A8	A8	A8	A8	A8	A8	A8	A8
A12	A12	A12	A12	A12	A12	A12	A12	A12	A12	A12	A12